

# The pattern of Industry 4.0 technologies adoption in Iran's auto parts manufacturing companies

Mohammad Hadi Rashmei<sup>1</sup>, Mehrdad Hosseini Shakib<sup>\*2</sup>, Abbas Khamseh<sup>3</sup>

1. Department of Industrial management, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

2. Department of Industrial management, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

3. Department of Industrial management, Karaj branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

\*. Corresponding Author: mehrdad.shakib@kiau.ac.ir

Received: 9 November 2023

Revised: 13 December 2023

Accepted: 13 December 2023

## Abstract

Industry 4.0 technologies can increase efficiency, promote the use of full production capacity, reduce costs, and thus improve the profitability of companies. Knowing the factors affecting the adoption of these technologies will greatly help manufacturing companies to invest in this field. This research aims to provide a pattern of adoption of Industry 4.0 technologies in Iran's auto part companies. In order to achieve the goal in this research, a mixed exploratory research method has been used in two stages, qualitative and quantitative. In this way, first, 86 related articles were reviewed using the meta-synthesis method and the factors affecting the adoption of Industry 4.0 technologies in industries were identified. Then, in the Delphi phase, with the help of 15 experts in this field, these factors were localized and screened. In the quantitative stage, the data obtained from the analysis questionnaire and the final model were presented using the structural equation modeling approach using the partial least squares method. Based on the results, 38 indicators in the form of 11 dimensions and 4 main factors “organizational”, “industrial”, “national” and “international” were identified as effective factors on the adoption of Industry 4.0 technologies in Iran's auto part companies.

**Keywords:** Industry 4.0 technologies, Technology adoption, Metasynthesis method, Delphi method.

---

**Citation:** Rashmei, M.H., Hosseini Shakib, M., Khamseh, A., (2023). The pattern of Industry 4.0 technologies adoption in Iran's auto parts manufacturing companies, *Journal of Technology Development Management*, 11(3), 169-210, <https://doi.org/10.22104/jtdm.2024.6743.3274>

---

## الگوی پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران

محمد هادی رشمئی<sup>۱</sup>؛ مهرداد حسینی شکیب<sup>۲\*</sup>؛ عباس خمسه<sup>۳</sup>

۱. گروه مدیریت صنعتی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۲. گروه مدیریت صنعتی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

۳. گروه مدیریت صنعتی، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران

\* نویسنده مسئول: mehrdad.shakib@kia.ac.ir

پذیرش: ۲۳ آذر ۱۴۰۲

بازنگری: ۲۳ آذر ۱۴۰۲

دریافت: ۲۴ تیر ۱۴۰۲

### چکیده

فناوری‌های صنعت چهارم می‌تواند باعث افزایش کارایی، تقویت استفاده از ظرفیت کامل تولید، کاهش هزینه‌ها و در نتیجه بهبود سودآوری شرکت‌ها شود. درک عوامل تاثیرگذار بر پذیرش این فناوری‌ها کمک فراوانی به شرکت‌های تولیدی جهت سرمایه‌گذاری در این حوزه می‌کند. این پژوهش با هدف ارائه الگوی پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در شرکت‌های قطعه‌سازی خودروی ایران انجام شده است. جهت رسیدن به هدف در این پژوهش از روش تحقیق آمیخته اکتشافی در دو بخش کیفی و کمی استفاده شده است. بدین صورت که ابتدا ۸۶ مقاله مرتبط با استفاده از روش فراترکیب بررسی و عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در صنایع شناسایی شدند. سپس در مرحله دلفی با کمک ۱۵ نفر از خبرگان این حوزه، این عوامل بومی‌سازی و غربالگری شدند. در بخش کمی از طریق رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری و روش کمترین مربعات جزئی، داده‌های حاصل از پرسشنامه تجزیه و تحلیل و الگوی نهایی ارائه شد. بر اساس نتایج این پژوهش ۳۸ شاخص در قالب ۱۱ بعد و ۴ عامل اصلی «سازمانی»، «صنعتی»، «ملی» و «بین‌المللی» به عنوان عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در شرکت‌های قطعه‌سازی خودروی ایران شناسایی شدند.

**کلمات کلیدی:** فناوری‌های صنعت چهارم، پذیرش فناوری، روش فراترکیب، روش دلفی.

## مقدمه

در اقتصاد پر نوسان امروزی شرکت‌ها با چالش‌های جدیدی مانند تقاضا برای زمان تحویل سریع‌تر، فرآیندهای کارآمدتر و خودکارتر، کیفیت بالاتر و محصولات سفارشی‌شده مواجه هستند که آنها را به سمت انقلاب صنعتی چهارم<sup>۱</sup> سوق می‌دهد (ژنگ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). در صنعت چهارم فناوری‌های رباتیک، حسگرها، هوش مصنوعی، واقعیت افزوده، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و غیره به جریان اصلی تولید تبدیل شده‌اند. این دیجیتالی‌سازی تولید، نوید کارایی و سودآوری بالاتر و همچنین کیفیت بهبود یافته محصولات را می‌دهد. با این وجود این فناوری‌ها ممکن است شرکت‌ها را در معرض رقابت فزاینده و تغییرات دشوار قرار دهد (ووکسانویچ<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). انقلاب صنعتی چهارم تأثیرات گسترده‌ای بر تمامی جنبه‌های زندگی (اقتصاد، صنعت، جامعه، امنیت و محیط زیست)، در سطوح جهانی، منطقه‌ای و در داخل هر کشور دارد. این انقلاب نحوه خلق محصولات را تغییر می‌دهد و در نتیجه یک «انقلاب» در سازمان زنجیره‌های تولید-ارزش ایجاد می‌کند. این تغییرات منادی دگرگونی سیستم تولید، مدیریت و حکومت جامعه بشری است (پتریلو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). پذیرش و بکارگیری فناوری‌های صنعت چهارم به عنوان یک منبع رقابتی برای سازمان‌ها شناخته می‌شود. بنابراین شناسایی و درک عوامل تاثیرگذار بر پذیرش این فناوری‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل مطالعات مربوط به شناسایی عوامل موثر بر پذیرش صنعت چهارم بیش از پیش مورد توجه محققان قرار گرفته است (خین و کی<sup>۵</sup>، ۲۰۲۲).

صنعت خودرو یکی از صنایع پیچیده‌ای است که در آن فرآیندهای فناورانه بیشترین کاربرد را دارد. در عین حال به دلیل ارتباط با بخش‌های مختلف و قدرت اشتغال بالا یکی از مهمترین صنایع می‌باشد. در صنعت قطعات خودرو که یکی از اجزای مهم صنعت خودروسازی است، تاثیر تحولات فناوری بیش از پیش احساس می‌شود. در این بخش رقابت در سطح جهانی وجود دارد و شرکت‌ها رقابت‌پذیری خود را از پیشرفت‌های فناوری کسب می‌کنند. در حالی که پیشرفت‌های فناورانه سرعت ادامه دارد، رقابت در بازار به موازات پیشرفت‌های فناوری افزایش می‌یابد. کسب و کارهای این حوزه به دنبال فرصت‌های جدید برای تغییر استراتژی‌های خود و هدایت آن‌ها در این مسیر هستند تا از این رقابت عقب نمانند. بنابراین اثرات صنعت چهارم در این بخش بسیار زیاد است و مشکلاتی که شرکت‌ها در فرآیندهای تحول تجربه می‌کنند در حال افزایش است (اوزکان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). صنعت خودرو

- 
1. Industry 4.0
  2. Zheng
  3. Vuksanović
  4. Petrillo
  5. Khin and Kee
  6. Özcan

به لحاظ ارتباط گسترده با زنجیره‌های بالادستی و پایین دستی خود، صنعتی کلیدی محسوب شده و جایگاه مهمی در توسعه صنعتی و رونق تولید دارد، به طوری که نقش موثری در رشد و توسعه اقتصادی و حتی فرهنگی ایفا می‌کند. انقلاب صنعتی چهارم یک پدیده مبتنی بر فناوری است که هدف آن تغییر سیستم‌های تولید در سراسر سازمان‌ها به ویژه بخش خودرو است (وانخده و وینوده، ۲۰۲۱).

صنعت خودروی ایران با قدمتی بیش از ۵۰ سال شاهد فراز و نشیب‌های فراوانی بوده است، اما در مجموع، امروزه به عنوان بخش مهمی از اقتصاد ملی کشور محسوب می‌شود. صنعت قطعه‌سازی خودرو نیز به عنوان پشتیبان خودروسازان داخلی، یکی از صنایع با اهمیت و میزان اشتغال بالا در کشور شناخته می‌شود. در حال حاضر این صنعت با مشکلاتی از قبیل عقب افتادگی فناوریانه و عدم انعطاف‌پذیری در برابر خواسته‌های مشتریان و کاهش رضایت آنها، افزایش قیمت تمام شده محصولات و در نهایت کاهش سود مواجه شده است. به علاوه فناوری‌های جدید به طور گسترده در خودروهای جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند. این پیشرفت چشمگیر فناوری موجب شده تا سازندگان قطعات خودرو در ایران ناچار به استفاده از فناوری‌های مدرن در تولید باشند تا بتوانند به حیات و رشد خود ادامه دهند. پذیرش و پیاده‌سازی فناوری‌های صنعت چهارم امکان جبران فاصله فناوریانه صنعت قطعه‌سازی ایران با کشورهای پیشرو را فراهم کرده و موجب افزایش صادرات این قطعات و قرارگیری در زنجیره تامین خودروسازان بین‌المللی می‌شود. شناسایی و درک عوامل مهم و موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم به شرکت‌های تولید کننده قطعات خودرو کمک می‌کند تا تصمیم درستی جهت سرمایه‌گذاری در این حوزه بگیرند و شرایط لازم جهت هوشمندسازی این صنعت را فراهم می‌کند. با وجود اهمیت گسترده و ضرورت انکار ناپذیر این موضوع، مطالعات اندکی در این زمینه انجام شده و شکاف تحقیقاتی در خصوص وجود یک مدل جامع که بتواند عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران را شناسایی و طبقه‌بندی کند، بخوبی احساس می‌شود. این مطالعه با هدف پرکردن این شکاف تحقیقاتی شکل گرفته است. به علاوه عوامل تأثیرگذار شناسایی شده در این مطالعه برای سیاستگذاران در بهبود سیاست‌ها و ابتکارات جهت تسریع دیجیتالی شدن صنایع کشور مفید است. بر این اساس هدف اصلی این تحقیق ارائه الگویی است که بتواند عوامل و شاخص‌های موثر بر تصمیم شرکت‌های قطعه‌سازی خودروی ایران جهت پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم را به صورت یکپارچه نمایش دهد. بر این اساس سوال اصلی این تحقیق عبارتست از این که الگوی پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران چیست؟ همچنین سوالات فرعی این تحقیق عبارتند از :

۱) شاخص‌های عمومی موثر و رتبه و میزان تاثیر آنها بر پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران کدام است؟

۲) شاخص‌های اختصاصی موثر و رتبه و میزان تاثیر آنها بر پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران کدام است؟

## مبانی نظری

### مروری بر انقلاب‌های صنعتی

جهش فناوری منجر به تغییر پارادایم می‌شود که به آن «انقلاب صنعتی»<sup>۱</sup> گفته می‌شود. اولین انقلاب صنعتی در اواخر قرن هجدهم با اختراع ماشین بخار توسط جیمز وات آغاز شد. این اختراع با جایگزینی کار انسان، ماشین‌آلات را وارد فرآیند تولید کرد که باعث افزایش تولید کالا و بهره‌وری شد (گالاب<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). این انقلاب در انگلستان در سال ۱۷۶۰ آغاز شد و در پایان قرن هجدهم در سراسر جهان گسترش یافت. این انقلاب نشان دهنده گذار از اقتصاد روستایی و صنعتی به اقتصاد ماشین محور بود (مهاجان<sup>۳</sup>، ۲۰۱۹). انقلاب صنعتی دوم در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم با بهره‌گیری از اختراع برق و خط مونتاژ، تولید انبوه را میسر کرد. هدف اصلی بشریت در آن زمان اختراع ماشین‌هایی بود که با انرژی الکتریکی کار می‌کردند. ماشین‌های الکتریکی یک جایگزین عالی برای نیروی آب و بخار بودند زیرا به راحتی نگهداری می‌شدند و کارایی بیشتری داشتند (لیو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). در این انقلاب فلزات سبکتر، فلزات خاکی کمیاب، آلیاژهای جدید، کالاهای ساخته شده مانند پلاستیک و منابع انرژی جدید که قبلاً منابع طبیعی و ساخته شده ناشناخته‌ای بودند، در صنعت مدرن مورد استفاده قرار گرفتند. نتیجه این پیشرفت‌ها توسعه کارخانه‌های خودکار بود (مکیر<sup>۵</sup>، ۱۹۹۲). سومین انقلاب صنعتی در دهه ۱۹۶۰ آغاز شد و معمولاً به آن انقلاب رایانه یا انقلاب دیجیتال اطلاق می‌شود؛ زیرا این انقلاب از توسعه نیمه‌هادیها، رایانه‌های بزرگ (دهه ۱۹۶۰) رایانه‌های شخصی (دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰) و اینترنت (دهه ۱۹۹۰) حادث شد (مهاجان، ۲۰۲۱). انقلاب صنعتی چهارم در ابتدا بصورت یک پروژه با سطح فناوری بالا توسط دولت فدرال آلمان و به صورت یک استراتژی برای توسعه رایانه‌ای نمودن ساخت و تولید مطرح و اولین بار در ۲۰۱۱ میلادی در نمایشگاه صنعتی هانوفر ارائه گردید. صنعت چهارم شکل کاملاً جدیدی از یک سیستم تولید را نشان می‌دهد که

1. Industrial revolution
2. Gallab
3. Mohajan
4. Liu
5. Mokyr

ماشین‌های کاملاً خودکار و مستقل از انسان و فرآیندهای خود مدیریتی را قادر می‌سازد با یکدیگر ارتباط برقرار کنند. این رویکرد نوظهور صنعتی جدید مجموعه‌ای از تحولات فناورانه را دربر دارد. سامانه‌های فیزیکی سایبری، اینترنت اشیا، رباتیک، کلان‌داده، تولید ابری و واقعیت افزوده از جمله این تحولات هستند. تحولات مد نظر همزمان بر محصولات و فرایندها تأثیر می‌گذارند و ارتقای بهره‌وری و افزایش کارایی شرکت‌ها را ممکن می‌سازند (اشمیت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

### فناوری‌های صنعت چهارم

بررسی متون نشان می‌دهد هیچ لیست توافقی شده‌ای از فناوری‌های صنعت چهارم در ادبیات وجود ندارد (فترمن<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). فناوری‌های صنعت چهارم ممکن است به فناوری‌های فیزیکی و دیجیتالی تقسیم‌بندی شوند. فناوری‌های فیزیکی عمدتاً به فناوری‌های تولیدی مانند ساخت افزودنی یا حسگرها اشاره دارد. فناوری‌های دیجیتال نیز عمدتاً به فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات مدرن مانند محاسبات ابری، بلاک چین، تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و شبیه‌سازی اشاره دارند (بای<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰). جدول ۱ خلاصه‌ای از فناوری‌های صنعت چهارم را که در ادبیات مختلف ذکر شده‌اند نشان می‌دهد.

### جدول ۱: فناوری‌های صنعت چهارم

فناوری	تعریف	مراجع
سیستم‌های فیزیکی - سایبری <sup>۴</sup>	مجموعه‌ای از فناوری‌های تحول آفرین است که عملیات دارایی‌های فیزیکی و قابلیت‌های محاسباتی را به هم متصل می‌کند. هدف اصلی نظارت بر سیستم‌های فیزیکی در حین ایجاد یک نسخه مجازی است.	قباخلو <sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، هول و آکلر <sup>۶</sup> (۲۰۱۸)، ایسیو <sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۹)، کومار <sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، ژنگ و همکاران (۲۰۲۱)
اینترنت اشیا	شبکه اطلاعاتی از اشیاء فیزیکی (حسگرها، ماشین‌ها، ساختمان‌ها و موارد دیگر) که امکان جمع‌آوری و تبادل	رد <sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک <sup>۱۰</sup> (۲۰۲۳)، جاین و اجمر <sup>۱۱</sup> (۲۰۲۰)، مکتادیر <sup>۱۲</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، کومار و

1. Schmidt
2. Fettermann
3. Bai
4. Cyber-physical systems
5. Ghobakhloo
6. Havle and Üçler
7. Obiso
8. Kumar
9. Rad
10. Öztürk
11. Jain and Ajmera
12. Mektadir

فناوری	تعریف	مراجع
	داده‌ها را فراهم می‌کند و امکان تعامل و همکاری این اشیاء را فراهم می‌کند.	همکاران (۲۰۲۰)، ابیسو و همکاران (۲۰۱۹)
تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ <sup>۱</sup>	جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل حجم زیادی از داده‌های موجود با استفاده از یک سری تکنیک‌ها برای فیلتر کردن، ضبط و گزارش بینش‌ها، که در آن داده‌ها در حجم‌های بالاتر، با سرعت‌های بالاتر و با تنوع بیشتر پردازش می‌شوند.	رد و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، کومار و همکاران (۲۰۲۰)، ابیسو و همکاران (۲۰۱۹)، پاسی <sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲)
رایانش ابری <sup>۳</sup>	سیستم ارائه خدمات ذخیره سازی آنلاین کلیه برنامه‌ها و داده‌ها در سرور مجازی بدون نیاز به نصب	رد و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، کومار و همکاران (۲۰۲۰)، ابیسو و همکاران (۲۰۱۹)
هوش مصنوعی <sup>۴</sup>	سیستمی که بر اساس شش رشته اصلی، از جمله پردازش زبان طبیعی، بازنمایی دانش، استدلال خودکار، یادگیری ماشین، بینایی رایانه و رباتیک، به صورت انسانی و عقلانی فکر می‌کند.	بای و همکاران (۲۰۲۰)، حیات <sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۳)، ژنگ و همکاران (۲۰۲۱)، قباخلو و همکاران (۲۰۲۲) جاوید <sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۲)
بلاک چین <sup>۷</sup>	پایگاه داده‌ای که یک دفتر کل دیجیتال توزیع شده و بدون دستکاری تراکنش‌ها، از جمله مهرهای زمانی بلوک‌های نگهداری شده توسط هر گره شرکت کننده ایجاد می‌کند.	رد و همکاران (۲۰۲۲)، حیات و همکاران (۲۰۲۳)، ژنگ و همکاران (۲۰۲۱)، قباخلو و همکاران (۲۰۲۲)
شبیه سازی <sup>۸</sup>	فناوری‌هایی که منعکس کننده داده‌های دنیای فیزیکی مانند ماشین‌ها، محصولات و انسان‌ها در دنیای مجازی هستند، با هدف ساده‌سازی و مقرون به صرفه بودن طراحی، ایجاد، آزمایش و عملیات زنده سیستم‌ها.	رد و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، جاین و اجمرا (۲۰۲۰)، مکتادیرو همکاران (۲۰۱۸)، ابیسو و همکاران (۲۰۱۹)، هول و آکلر (۲۰۱۸)
واقعیت افزوده <sup>۹</sup>	روش‌های تعامل که می‌تواند اشیاء مجازی را برای همزیستی و تعامل در محیط واقعی جاسازی کند.	رد و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، مکتادیرو همکاران (۲۰۱۸)، ابیسو و همکاران (۲۰۱۹)، ژنگ و همکاران (۲۰۲۱)، هول و آکلر (۲۰۱۸)

1. Big data analytics
2. Pasi
3. Cloud computing
4. Artificial intelligence
5. Hayat
6. Javaid
7. Blockchain
8. Simulation
9. Augmented reality

فناوری	تعریف	مراجع
واقعیت مجازی <sup>۱</sup>	استفاده از فناوری رایانه برای ایجاد یک دنیای تعاملی که به کاربر امکان می‌دهد شیء مجازی و کل صحنه مجازی را در زمان واقعی کنترل کند.	حیات و همکاران (۲۰۲۳)، ژنگ و همکاران (۲۰۲۱)، اوزترک (۲۰۲۳)، قباخلو و همکاران (۲۰۲۲)
ربات‌های خودمختار <sup>۲</sup>	ماشین‌آلات و تجهیزاتی که فرآیندهای عملیاتی را خودکار می‌کنند، همچنین حاوی رباتیک مشارکتی است که به انسان‌ها و ماشین‌ها اجازه می‌دهد در یک محیط یادگیری مشترک کار کنند.	رد و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، جاین و اجمرآ (۲۰۲۰)، مکتادیرو همکاران (۲۰۱۸)، اییسو و همکاران (۲۰۱۹)، هول و آکلر (۲۰۱۸)، کومار و همکاران (۲۰۲۰)
تولید افزایشی <sup>۳</sup>	چاپگرهای سه بعدی فرآیند اتصال مواد در لایه‌های متوالی برای ساخت اشیاء از داده‌های مدل سه بعدی برای گزینه‌های طراحی و دستیابی به پتانسیل بزرگ برای سفارشی‌سازی انبوه هستند	رد و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، جاین و اجمرآ (۲۰۲۰)، مکتادیرو همکاران (۲۰۱۸)، اییسو و همکاران (۲۰۱۹)
امنیت سایبری <sup>۴</sup>	اقداماتی در جهت جلوگیری از حملات، آسیب و دسترسی غیرمجاز به سیستم‌های متصل به اینترنت، از جمله سخت افزار، نرم افزار و داده‌ها.	اوزترک (۲۰۲۳)، جاین و اجمرآ (۲۰۲۰)، مکتادیرو همکاران (۲۰۱۸)، اییسو و همکاران (۲۰۱۹)، بولان <sup>۵</sup> (۲۰۲۳)
یادگیری ماشین <sup>۶</sup>	به خودآموزی از اطلاعات می‌پردازد و سپس از آن در جهت یادگیری بدون نیاز به دخالت انسان استفاده می‌کند.	مکتادیرو همکاران (۲۰۱۸)، بولان (۲۰۲۳)، قباخلو و همکاران (۲۰۲۲)، جاوید و همکاران (۲۰۲۲)

### صنعت نسل چهارم و صنعت خودرو و قطعات

شرکت‌های خودروسازی و قطعه‌سازی پتانسیل زیادی جهت استفاده از فناوری‌های صنعت چهارم در فرایندهای تولیدی خود دارند. صنعت نسل چهارم در صنعت خودرو و قطعات بر کل زنجیره ارزش این صنایع از جمله طراحی، تولید، توزیع و فروش تاثیر می‌گذارد و مدل کسب و کار سنتی این حوزه را دگرگون می‌کند. تکامل هوش مصنوعی، رباتیک و حسگرها احتمالاً منجر به نوآوری‌های بسیاری در صنعت خودرو و قطعات خواهد شد. به همین دلیل صنعت خودرو و قطعات به عنوان یکی پیشگامان صنعت چهارم در نظر گرفته می‌شوند (کاسیا و فرازی<sup>۷</sup>، ۲۰۱۸). با استفاده فناوری‌هایی از جمله حسگر توزیع شده بی‌سیم، شبکه‌های رادیویی شناختی هوشمند، مواد سبک وزن،

1. virtual reality
2. Autonomous Robots
3. Additive manufacturing
4. Cyber Security
5. Bholane
6. Machine learning
7. Cassia and Ferrazzi



موتورهای احتراق داخلی با راندمان بالا و انتشار آلاینده‌گی فوق‌العاده کم، رایانش ابری، باتری با کارایی بالا و فناوری سلول سوختی و مبدل هوشمند، امکان تولید خودروی ایمن‌تر و هوشمندتر با آلاینده‌گی کمتر فراهم خواهد شد (گوش<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۲). با استفاده از صنعت چهارم در فرآیندهای تولید خودرو و قطعات آن، فرآیند تولید خطی کلاسیک با فرآیند تولید آنلاین جایگزین خواهد شد. به همین ترتیب، سرویس‌های جدید مبتنی بر داده‌های بلادرنگ و تجزیه و تحلیل داده‌ها هستند که منجر به بهبود عملکرد فرآیند تولید و بهینه‌سازی ماشین‌آلات در فرآیند تولید و همچنین تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه می‌شود (کاربگوویچ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱).

### پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم

پذیرش فناوری فرایندی است که طی آن افراد یا سازمان‌ها فناوری‌های جدید را پیاده‌سازی و از آن استفاده می‌کنند. این شامل یادگیری و سازگاری با فناوری‌های جدید است (استراب<sup>۳</sup>، ۲۰۰۹). پذیرش فناوری‌های مدرن ابزاری حیاتی در جهت دستیابی به مزیت رقابتی در سطح بین‌الملل و حرکتی پایدار در جهت توسعه کشورها است. بدون دستیابی به دانش، مهارت و فناوری‌های نوین نمی‌توان از آینده و حیات بلند مدت سازمان‌ها اطمینان حاصل نمود. پذیرش فناوری‌های دیجیتال در تولید در محیط تجاری فعلی جهانی از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است. قدرت دگرگون‌کننده فناوری‌های صنعتی چهارم در حال تغییر شکل تولید در سطح جهانی است. پذیرش این فناوری‌ها شرکت‌ها را قادر می‌سازد تا «هوشمندی» را در خود جای دهند و ابزارهای جدیدی را برای یک استراتژی تولید پیش‌بینی کننده، که قلب این انقلاب صنعتی است، ارائه دهند. فناوری‌های صنعت چهارم پتانسیل بهبود انعطاف‌پذیری و مقیاس‌پذیری سیستم‌های تولیدی را دارند هرچند پذیرش این فناوری‌های مدرن ممکن است بسیار چالش برانگیز باشد (یانگ<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱).

در اقتصاد جهانی جدید، پذیرش صنعت چهارم به عنوان یک موضوع اصلی برای شرکت‌های تولیدی مطرح شده است. بر این اساس، کشورها و سازمان‌ها برای بهره‌مندی کامل از این انقلاب صنعتی جدید، ابتکارات لازم را برای اجرای آن انجام می‌دهند. به عنوان مثال، دولت فدرال آلمان، صنعت چهارم را جزء کلیدی استراتژی فناوری پیشرفته‌ی خود برای تضمین رقابت‌پذیری اقتصاد آلمان قرار داده است. چین نیز طرح‌های گسترده‌ای جهت

---

1. Ghosh  
2. Karabegović  
3. Straub  
4. Yang

انتقال از صنعت نسل سوم به صنعت نسل چهارم تدارک دیده است تا به یک رهبر جهانی تبدیل شود (سایم<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۲).

با وجود مزایای متعدد ارائه شده توسط صنعت چهارم و اهمیت روزافزون آن، بسیاری از شرکت‌های تولیدی هنوز در پذیرش آن مردد هستند. موانع متعددی بر پذیرش فناوری‌های مدرن، به ویژه در کشورهای در حال توسعه وجود دارد. به عنوان مثال، زیرساخت‌های ضعیف، هزینه‌های بالای فناوری‌های جدید و ترس از بیکاری به موانع بزرگی برای پذیرش فناوری‌های مدرن تبدیل شده‌اند. علاوه بر این، کمبود دانش مشترک از عواملی که بر پذیرش فناوری‌های مدرن تأثیر می‌گذارد، ممکن است تا حد زیادی مقاومت سازمان‌ها در برابر تحول صنعت چهارم را افزایش دهد (جاوید و همکاران، ۲۰۲۲). با این حال تحقیقات اندکی پیرامون عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم انجام شده است (خین و کی، ۲۰۲۲).

### پیشینه پژوهش

#### پیشینه تجربی داخلی

احدیانی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲) مطالعه‌ای با عنوان «شناسایی پیشران‌ها و پسران‌های کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران» با روش تحلیل مضمون انجام داده‌اند که بر اساس نتایج آن پسران‌ها مشتمل بر «فرار مغزها، انحصاری بودن و عدم رقابت پذیری، شرایط سیاسی و تحریم‌ها و هزینه بالای انتقال فناوری» و پیشرانها مشتمل بر «شایسته سالاری و استفاده از نخبگان، افزایش توانمندی ارکان کلیدی، شناسایی مختصات و موقعیت جغرافیایی، اشتراک تجربه، دانش و اطلاعات» جهت کاربرد اینترنت اشیا در مدیریت صنعت هوایی ایران شناسایی گردیدند.

کرباسی<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با عنوان «شناسایی و اولویت بندی عوامل کلیدی مؤثر بر نقشه راه فناوری صنعت ۴ با رویکرد توسعه بهره‌وری اقتصادی در صنایع تجهیزات نیروگاهی و تأمین انرژی» به بررسی عوامل مؤثر بر نقشه راه فناوری‌های صنعت چهارم پرداخته‌اند. در این مطالعه ۴۶ زیر عامل در قالب ۱۴ عامل و ۶ بعد (پیشرانها/محرك‌ها، بازار، محصول، تکنولوژی، تحقیق و توسعه، منابع و زیرساخت‌ها) طبقه بندی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد تمامی عامل‌ها و زیر عامل‌های شناسایی شده بر نقشه راه فناوری صنعت چهارم تأثیرگذار بوده همچنین عامل پیشران‌های تکنولوژیک دارای اولویت اول و عامل زیرساخت‌های نرم و سخت دارای اولویت

1. Sayem  
2. Ahadiani  
3. Karbasi

دوم و عامل مدیریت تکنولوژی دارای اولویت سوم بوده و زیر عامل قوانین زیست محیطی دارای رتبه اول و زیر عامل زمان ورود به بازار دارای رتبه دوم و تغییر سبک زندگی دارای رتبه سوم است.

خان احمدلو<sup>۱</sup> و ذوقی (۲۰۲۲) در مقاله‌ای با عنوان «شناسایی موانع و پیشران‌های پذیرش فناوری واقعیت مجازی به منظور ایجاد سامانه فرماندهی و کنترل مجازی: مطالعه موردی یک سازمان نظامی» با استفاده از رویکرد دلفی نشان داده‌اند که امنیت اطلاعات کاربر، امنیت اطلاعات نرم‌افزار، نبود قوانین و مقررات در کنار ایمنی بیشتر نیروها، افزایش کیفی تمرینات و امکان استفاده از هوش مصنوعی از جمله موانع و پیشران‌های پذیرش فناوری واقعیت مجازی هستند. همچنین بر اساس یافته‌های این مقاله درونزایی و سرمایه‌گذاری در جهت عدم وابستگی به خارج از کشور در تولید قطعات لازم برای واقعیت مجازی و همچنین تعیین چارچوب قانونی لازم می‌تواند به پذیرش این فناوری در سازمان مورد مطالعه کمک شایانی کند.

### پیشینه تجربی خارجی

لی<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای با عنوان «چه چیزی باعث پذیرش فناوری‌های صنعت ۴/۰ می‌شود؟ شواهدی از یک رویکرد شبکه عصبی در زمینه شرکت‌های ویتنامی» به بررسی عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در کشور ویتنام می‌پردازند. در این تحقیق با استفاده از رویکرد شبکه عصبی پنج گروه از عوامل شامل ویژگی‌های درک شده، شایستگی فناوری، ویژگی‌های مدیران ارشد، ویژگی‌های محیط و هنجارهای ذهنی شناسایی شدند که همگی بطور مثبت و قابل توجهی بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در ویتنام تاثیر می‌گذارند. همچنین کوردیرو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۳) در تحقیقی با عنوان «مطالعه بر روی موانعی که بر پذیرش صنعت ۴/۰ در زمینه شرکت‌های برزیلی تأثیر می‌گذارد» به شناسایی موانع پذیرش صنعت چهارم در شرکت‌های برزیلی پرداخته‌اند. آنها در این مقاله با استفاده از روش پیمایش و پرسشنامه و با مشارکت ۹۹ شرکت برزیلی به کمک تحلیل عاملی و رگرسیون موانع پذیرش صنعت چهارم در برزیل را شناسایی کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که زیرساخت‌های فناوری، محدودیت‌های مالی و عدم درک مزایای صنعت چهارم بیشترین تاثیر را بر پذیرش صنعت چهارم در برزیل دارد.

اوزترک (۲۰۲۳) در تحقیقی با عنوان «تجزیه و تحلیل پذیرش فناوری‌های صنعت ۴/۰ با استفاده از مدل‌سازی ساختاری تفسیری: یافته‌های تجربی از بخش تولید در ترکیه» به شناسایی موانع پذیرش فناوری‌های صنعت

1. Khanahmadloo

2. Le

3. Cordeiro

چهارم در صنایع ترکیه پرداخته است. با توجه به نتایج این مطالعه کمبود پرسنل آموزش دیده، بزرگترین مانع در انطباق صنعت چهارم با بخش تولید ترکیه است. این یک مانع ریشه‌ای است که بر سایر موانع تاثیر می‌گذارد. عدم رویکرد روشمند برای اجرا، عدم درک روشن از مزایای فناوری‌های صنعت چهارم و فقدان زیرساخت‌های شبکه و اینترنت نیز به عنوان موانع تاثیرگذار در پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در ترکیه معرفی شده‌اند. گوویندان و آرامپاتزیس<sup>۱</sup> (۲۰۲۳) در مقاله‌ای با عنوان «چارچوبی برای سنجش آمادگی و موانع برای اجرای صنعت ۴/۰: رویکرد موردی» موانع موجود در پیاده‌سازی صنعت چهارم در کشور دانمارک را مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رهبری مهم‌ترین مانعی است که یک شرکت برای پذیرش مفهوم صنعت چهارم باید بر آن غلبه کند. علاوه بر این، شرکت‌ها با تغییرات سازمانی که پذیرش صنعت چهارم به ارمغان می‌آورد، به چالش کشیده می‌شوند و ابزار مدیریت تغییر سازمانی در این زمینه مفید خواهد بود. خین و کی (۲۰۲۲) نیز مطالعه‌ای با عنوان «عوامل موثر بر پذیرش صنعت ۴/۰» انجام داده‌اند که به بررسی عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در شرکت‌های تولیدی کشور مالزی می‌پردازند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که عوامل پیشران، تسهیل کننده و بازدارنده نقش موثری در تصمیم‌گیری شرکت‌ها برای پذیرش صنعت چهارم دارند. السادی<sup>۲</sup> (۲۰۲۲) در مقاله‌ای با عنوان «مدل‌سازی و تحلیل چالش‌های پذیرش صنعت ۴/۰ در صنعت تولید» چالش‌های پذیرش صنعت چهارم در صنایع تولید فولاد کشور عربستان سعودی را شناسایی و مدل‌سازی کرده است. نویسندگان در این مطالعه در ابتدا ۱۰ چالش اصلی را شناسایی کرده که عبارتند از: سرمایه‌گذاری بالا، ناامنی داده‌ها، پیچیدگی در پیکربندی مجدد سیستم‌های تولید، توانایی محاسباتی، فقدان مهارت‌های کارکنان، فقدان زیرساخت‌های فناوری، درک کمتر در مورد فناوری‌های صنعت چهارم، کیفیت ضعیف داده‌های موجود، عدم حمایت دولت و منافع اقتصادی نامشخص. پس از تجزیه و تحلیل چالش‌ها و مدل‌سازی، «عدم مهارت کارکنان» و «فقدان زیرساخت‌های فناوری» به عنوان بزرگترین چالش‌ها در پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در بخش تولید فولاد عربستان سعودی شناسایی شدند.

وانخده و وینوده (۲۰۲۱) در مقاله‌ای با عنوان «تجزیه و تحلیل چالش‌های صنعت ۴/۰ با استفاده از روش بهترین بدترین: مطالعه موردی» چالش‌های پذیرش و پیاده‌سازی صنعت چهارم در صنایع خودروسازی و قطعه‌سازی کشور هندوستان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها ۳۶ چالش را تجزیه و تحلیل و در ۴ بعد مدیریت

---

1. Govindan and Arampatzis  
2. Alsaadi

تولید، استراتژی تولید، فناوری تولید و مدیریت سازمان و کارکنان دسته‌بندی کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که چالش‌های زیر به ترتیب بیشترین اهمیت را در شرکت‌های مورد مطالعه داشته‌اند:

- پیوند بلادرنگ تولید فیزیکی و کارخانه دیجیتال
- سیستم‌های سازگار با زمینه و خودمختار
- همزیستی و قابلیت همکاری
- سیستم‌های تولید مشارکتی
- هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری مورد نیاز در زیرساخت اینترنت اشیا
- تجزیه و تحلیل اطلاعات و تبدیل آن به دانش عملی
- همزیستی انسان و ماشین

رزقیانیتا و آردی<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) در مقاله‌ای با عنوان «پیشرانان و موانع صنعت ۴/۰ پذیرش در صنعت تولید اندونزی» پیشرانان و موانع پذیرش صنعت چهارم در صنعت تولید اندونزی را شناسایی کرده‌اند. در این مقاله از طریق مرور ادبیات و مصاحبه کارشناسان، ۱۹ پیشران در ۵ بعد و ۲۴ مانع در ۵ بعد شناسایی شدند. بعد پیشرانان شامل دولت، شرایط بازار، سازمان، بهره‌وری و کارایی و اکوسیستم صنعت است. بعد موانع شامل مالی، سازمانی، منابع انسانی، دولت و فناوری است. در این مطالعه مواردی مانند وجود مراکز نوآوری، افزایش فشار رقبا، روند بازار، کاهش زمان چرخه عملیات و حمایت مدیران ارشد به عنوان پیشرانان و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا، فقدان مشوق‌های دولتی، نبود زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، فقدان سیستم مدیریت دانش و نگرانی از امنیت سایبری به عنوان موانع پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در صنایع تولیدی اندونزی شناسایی شده است. مرور پیشینه پژوهش مبین آن است که بیشتر پژوهش‌های انجام شده در زمینه عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در خارج از کشور انجام شده است. از سوی دیگر اغلب آنها فاقد رویکردی جامع بوده و به بررسی بخشی از عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم اکتفا کرده‌اند.

## روش پژوهش

پژوهش حاضر از حیث هدف کاربردی است به دلیل اینکه نتایج آن می‌تواند قابل بهره‌برداری در طیف گسترده‌ای از شرکت‌های تولید کننده قطعات خودرو باشد. در این پژوهش از روش تحقیق آمیخته اکتشافی که ترکیبی از دو نوع پژوهش کمی و کیفی است، استفاده شده است. در بخش کیفی در ابتدا با استفاده از روش فراترکیب هفت

مرحله‌ای سندولوسکی و باروسو<sup>۱</sup> که در ادامه تشریح می‌شوند، شاخص‌های عمومی موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم شناسایی شدند.

### مرحله اول : تنظیم سوال و اهداف پژوهش

در این مرحله در نخستین گام از تنظیم سوالات پژوهش، تمرکز بر «چه چیزی: What» مطالعه است که عبارتست از:

عوامل و شاخص‌های موثر بر پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودرو کدام است؟  
گام دوم «چه کسی: Who» که جامعه مورد مطالعه را مشخص می‌کند که در این پژوهش پایگاه‌های داده، مجلات و نشریات معتبر داخلی و خارجی مورد بررسی قرار گرفتند. گام سوم «چه وقت: When» بیانگر چارچوب زمانی است که در این تحقیق سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۳ مدنظر قرار گرفته است. گام چهارم «چگونه: How» که بیانگر نوع روش یا معیارهایی است که منابع بر اساس آن انتخاب و یا از فرآیند فراترکیب خارج می‌شوند. در این پژوهش از روش تحلیل اسنادی استفاده شده است.

### مرحله دوم : بررسی نظام‌مند متون

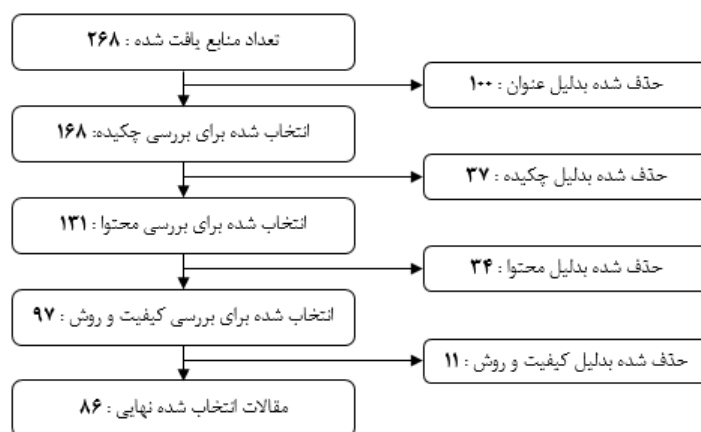
در پژوهش حاضر، منبع اطلاعات مجلات علمی داوری شده و ژورنال‌های مرتبط با پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم هستند که مرتبط‌ترین مطالعات با استفاده از رویکردی هدمند انتخاب شدند. جهت جستجوی متون پژوهشی از اصطلاحات مختلفی استفاده شده است که در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

#### جدول ۲: اصطلاحات مورد جستجو در مرحله فراترکیب

فارسی	انگلیسی
پذیرش فناوری‌های نسل چهارم	Adoption of Industry 4.0 technologies
پیاده‌سازی فناوری‌های نسل چهارم	Industry 4.0 technologies implementation
پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت خودرو و قطعات	Adoption of Industry 4.0 technologies in the automotive and parts industry
پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در شرکت‌های قطعه سازی خودرو	Adoption of Industry 4.0 technologies in auto parts manufacturing companies

### مرحله سوم : جستجو و انتخاب مقاله‌های مرتبط

در این مرحله مقالات مورد نظر براساس عنوان، چکیده، محتوا و کیفیت و روش‌شناسی مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت ۸۶ مقاله داخلی و خارجی انتخاب شدند. شکل ۱ مراحل انتخاب مقالات منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۱: مراحل انتخاب مقالات در مرحله فراترکیب

### مرحله چهارم : استخراج اطلاعات و نتایج مقاله‌ها

در این مرحله برای یافتن مفاهیم محتوایی مربوط به موضوع اصلی پژوهش مقالات منتخب چندین بار مرور شده و کدها و مفاهیم مرتبط با پرسش و هدف پژوهش استخراج گردید.

### مرحله پنجم : تجزیه و تحلیل و ترکیب یافته‌های کیفی

این مرحله ابتدا تمام عوامل استخراج شده مطالعات به عنوان یک شاخص در نظر گرفته شدند. سپس با در نظر گرفتن مفهوم هریک از شاخص‌ها، آن‌ها در یک مفهوم مشابه دسته‌بندی شدند. حاصل این مرحله طبقه‌بندی ۴۹ شاخص در قالب ۱۱ بعد و ۴ عامل اصلی است.

### مرحله ششم : کنترل کیفیت

در این مرحله جهت ارزیابی پایایی پژوهش، از ضریب کاپا استفاده شده‌است. بدین طریق که، شخص دیگری ( یکی از خبرگان حوزه صنعت چهارم) بدون اطلاع از نحوه ادغام شاخص‌ها و مفاهیم ایجاد شده توسط محققان این پژوهش، اقدام به دسته‌بندی شاخص‌ها کرد. سپس نتایج ارائه شده با یکدیگر مقایسه و ضریب کاپا طبق فرمول شکل ۲ محاسبه گردید. در این پژوهش شاخص کاپا معادل ۰/۸۸ محاسبه گردید که نشان دهنده پایایی کافی و قابل استناد بودن طبقه‌بندی صورت گرفته می‌باشد.

$$Kapa = \frac{\text{توافقات شانس} - \text{توافقات مشاهده شده}}{1 - \text{توافقات شانس}}$$

### مرحله هفتم: ارائه یافته‌ها

در این مرحله یافته‌های حاصل از فراترکیب بصورت ۴۹ شاخص در قالب ۱۱ بعد و ۴ عامل اصلی ارائه شدند. در مرحله بعد بخش کیفی با استفاده روش دلفی طی سه دور عوامل و شاخص‌های بدست آمده توسط خبرگان این حوزه بومی‌سازی و غربالگری شدند. در این مرحله خبرگان نظر خود را درباره اهمیت شاخص‌های ذکر شده با انتخاب یکی از گزینه‌های طیف ۵ درجه‌ای لیکرت که شامل گزینه‌های «خیلی با اهمیت»، «با اهمیت»، «اهمیت متوسط»، «بی‌اهمیت» و «خیلی بی‌اهمیت» می‌شد، اعلام نموده و شاخص‌های بومی مرتبط مد نظر خود را نیز اعلام کردند. براساس تقسیم‌بندی صورت گرفته شاخص‌هایی که در آن بیش از ۷۰ درصد از خبرگان شرکت‌کننده، گزینه‌های «خیلی با اهمیت» و «با اهمیت» را انتخاب کرده بودند، مورد پذیرش قرار گرفته و مابقی حذف شدند. بر همین اساس در دور اول دلفی ۱۵ شاخص امتیاز لازم را کسب نکرده و حذف شدند. در این مرحله ۱۰ شاخص بومی نیز توسط خبرگان به شاخص‌های قبلی اضافه گردید. در دور دوم نیز ۳ شاخص امتیاز لازم را کسب نکرده و حذف شدند. پس از پایان دور سوم و دستیابی به اتفاق نظر، انجام روش دلفی با تکمیل و نهایی سازی عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های نسل چهارم صنعت در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران خاتمه یافت. در این پژوهش برای تعیین میزان اتفاق نظر میان اعضای پانل، از ضریب هماهنگی کندال<sup>۱</sup> (W) استفاده شده است. ضریب هماهنگی کندال نشان می‌دهد که افرادی که چند مقوله را بر اساس اهمیت آنها مرتب کرده‌اند، بطور اساسی معیارهای مشابهی را برای قضاوت درباره اهمیت هر یک از مقوله‌ها بکار برده‌اند و از این نظر با یکدیگر اتفاق نظر دارند. مقدار این مقیاس هنگام هماهنگی یا موافقت کامل برابر با یک و در زمان نبود کامل هماهنگی برابر با صفر است (کندال و اسمیت<sup>۲</sup>، ۱۹۳۹). اشمیت برای تصمیم‌گیری درباره توقف یا ادامه دوره‌های دلفی دو معیار ارائه کرده است. اولین معیار اتفاق نظر قوی میان اعضای پانل براساس ضریب کندال است. دومین معیار ثابت ماندن یا رشد ناچیز ضریب کندال در دو دور متوالی است که نشان می‌دهد افزایشی در توافق صورت نگرفته است و فرایند نظرخواهی باید متوقف شود (اشمیت<sup>۳</sup>، ۱۹۹۷). جدول ۳ مقادیر ضریب هماهنگی کندال محاسبه شده با استفاده نرم‌افزار SPSS در دور دوم و سوم این پژوهش را نشان می‌دهد. با توجه به مقدار ضریب کندال، در دور سوم اتفاق نظر بسیار قوی روی عوامل وجود دارد. همچنین تغییرات این ضرایب نسبت به دور دوم بسیار ناچیز می‌باشد. بر همین اساس نتایج دور سوم دلفی به عنوان نتیجه نهایی این مرحله مورد پذیرش قرار گرفت که براساس آن ۴۱

1. Kendall's Coefficient of Concordance  
2. Kendall & Smith  
3. Schmidt



شاخص در قالب ۱۱ بعد و ۴ عامل اصلی به عنوان عوامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در صنایع قطعه‌سازی خودرووی ایران شناسایی شدند جدول ۴ این عوامل را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقادیر ضریب همبستگی کندال در دور دوم و سوم دلفی

مرحله دلفی	ضریب کندال	سطح معناداری	میزان اتفاق نظر
۲	۰/۸۲۲	۰/۰۰۵	بسیار قوی
۳	۰/۸۴۴	۰/۰۰۵	بسیار قوی

جدول ۴: نتیجه نهایی روش دلفی

ردیف	عامل	ردیف	بعد	ردیف	شاخص	منبع
۱	بین‌المللی	۱	تجاری	۱	ارائه دهندگان فناوری‌های صنعت چهارم	قباخلو و همکاران (۲۰۲۲)، هبراکن و بنداروک <sup>۱</sup> (۲۰۲۰)، خین و کی (۲۰۲۲)، ابرمایر <sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، چاوهان <sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، جاوید و همکاران (۲۰۲۲)
				۲	همکاری‌های تجاری بین شرکتی و بین‌المللی	
				۳	تحریم‌های بین‌المللی ایران	خبرگان دلفی
۲	محیطی	۲	محیطی	۴	اثرات زیست محیطی فناوری‌های صنعت چهارم	وانخده و وینوده (۲۰۲۱)، مکتادیرو همکاران (۲۰۱۸)، ایسیو و همکاران (۲۰۱۹)، فریرا <sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۳)، تموادا <sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، مایسیری <sup>۶</sup> (۲۰۲۱)، ایسیو و همکاران (۲۰۱۹)، احدیانی و همکاران (۲۰۲۲)
				۵	پیامدهای اجتماعی فناوری‌های صنعت چهارم	
				۶	مهاجرت گسترده نیروهای متخصص	
۲	اقتصادی	۳	اقتصادی	۷	اثرات اقتصادی فناوری‌های صنعت چهارم	خین و کی (۲۰۲۲)، چاوهان و همکاران (۲۰۲۱)، ابرمایر و همکاران (۲۰۲۲)، قدیمی <sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، السادی (۲۰۲۲)، کومار و همکاران
				۸	ریسک سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت چهارم	

1. Habraken and Bondarouk
2. Obermayer
3. Chauhan
4. Ferreira
5. Tamvada
6. Maisiri
7. Ghadimi

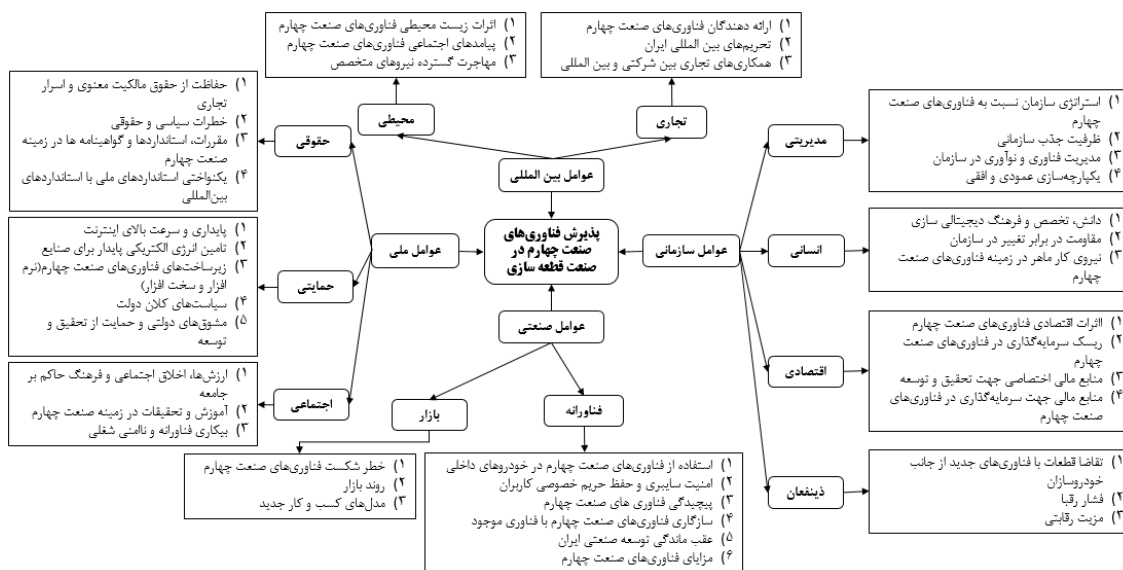
منبع	شاخص	ب.ع.ع	بعد	ب.ع.ع	عامل	ب.ع.ع
(۲۰۲۰)، سینگ و همکاران (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، احدیانی و همکاران (۱۴۰۱)	منابع مالی اختصاصی جهت تحقیق و توسعه	۹				
	منابع مالی جهت سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت چهارم	۱۰				
قباخلو و همکاران (۲۰۲۲)، ابرمایر و همکاران (۲۰۲۲)، باجیک <sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، اوزترک (۲۰۲۳)، ویرمانی <sup>۲</sup> (۲۰۲۱)، روجاس بریو <sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، راج <sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، سایم و همکاران (۲۰۲۲)، احدیانی و همکاران (۱۴۰۱)، سینگ <sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۲۲)	دانش، تخصص و فرهنگ دیجیتالی سازی	۱۱	انسانی	۴		
	مقاومت در برابر تغییر در سازمان	۱۲				
	نیروی کار ماهر در زمینه فناوری‌های صنعت چهارم	۱۳				
خبرگان دلفی	تقاضا قطعات با فناوری‌های جدید از جانب خودروسازان	۱۴	ذینفعان	۵		
کاتر <sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، وونگ و کی <sup>۷</sup> (۲۰۲۲)، هایمانگ <sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۲۰)، تموادا و همکاران (۲۰۲۲)، بریکل <sup>۹</sup> و همکاران (۲۰۱۹)	فشار رقبا	۱۵				
	مزیت رقابتی	۱۶				
وانخده و وینوده (۲۰۲۱)، راج و همکاران (۲۰۲۰)، گالاب و همکاران (۲۰۲۱)، اوزترک (۲۰۲۳)، کومار و همکاران (۲۰۲۲)، سنا <sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۲۲)، قباخلو و همکاران (۲۰۲۲)، استورنلی <sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱)،	استراتژی سازمان نسبت به فناوری‌های صنعت چهارم	۱۷	مدیریتی	۶		
	ظرفیت جذب سازمانی	۱۸				
	مدیریت فناوری و نوآوری در سازمان	۱۹				
	یکپارچه‌سازی عمودی و افقی	۲۰				

1. Bajic
2. Virmani
3. Rojas-Berrio
4. Raj
5. Singh
6. Cater
7. Wong and Kee
8. Himang
9. Birkel
10. Senna
11. Stornelli

منبع	شاخص	ب.ع.	بعد	ب.ع.	عامل	ب.ع.
سابرامانیان <sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، کریشنن <sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۱)						
وانخده و وینوده (۲۰۲۱)، مایسیری (۲۰۲۱)، ایسو و همکاران (۲۰۱۹)، سایم و همکاران (۲۰۲۲)، تمودا و همکاران (۲۰۲۲)، چاوهان و همکاران (۲۰۲۱)، قدیمی و همکاران (۲۰۲۲)، خین و هونگ کی <sup>۳</sup> (۲۰۲۲)	خطر شکست فناوری‌های صنعت چهارم	۲۱	بازار	۷	صنعتی	۳
	روند بازار	۲۲				
	مدل‌های کسب و کار جدید	۲۳				
خبرگان دلفی	استفاده از فناوری‌های صنعت چهارم در خودروهای داخلی	۲۴	فناورانه	۸	صنعتی	۳
خبرگان دلفی	عقب ماندگی توسعه صنعتی ایران	۲۵				
وانخده و وینوده (۲۰۲۱)، راج و همکاران (۲۰۲۰)، السادی (۲۰۲۲)، کومار و همکاران (۲۰۲۲)، بولان (۲۰۲۳)، ایسو و همکاران (۲۰۱۹)، ابرمایر و همکاران (۲۰۲۲)، احمدلو و ذوقی (۱۴۰۰)، جاوید و همکاران (۲۰۲۲)	امنیت سایبری و حفظ حریم خصوصی کاربران	۲۶				
	پیچیدگی فناوری‌های صنعت چهارم	۲۷				
	سازگاری فناوری‌های صنعت چهارم با فناوری موجود	۲۸				
	مزایای فناوری‌های صنعت چهارم	۲۹				
مایسیری (۲۰۲۱)، کومار و همکاران (۲۰۲۲)، ابرمایر و همکاران (۲۰۲۲)، گالاب و همکاران (۲۰۲۱)، تمودا و همکاران (۲۰۲۲)	ارزش‌ها، اخلاق اجتماعی و فرهنگ حاکم بر جامعه	۳۰	اجتماعی	۹	اجتماعی	۴
	آموزش و تحقیقات در زمینه صنعت چهارم	۳۱				
	بیکاری فناورانه و ناامنی شغلی	۳۲				
سنا و همکاران (۲۰۲۲)، تمودا و همکاران (۲۰۲۲)، ایسو و همکاران (۲۰۱۹)، استورنلی و همکاران	حفاظت از حقوق مالکیت معنوی و اسرار تجاری	۳۳	حقوقی	۱۰	حقوقی	۴
	خطرات سیاسی و حقوقی	۳۴				
	مقررات، استانداردها و گواهینامه‌ها در زمینه صنعت چهارم	۳۵				

1. Subramanian
2. Krishnan
3. Khin and Hung Kee

منبع	شاخص	ع.ع.	بعد	ع.ع.	عامل	ع.ع.
(۲۰۲۱)، آدبانجو <sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، گوویندان و آرامپاتزیس (۲۰۲۳)، گادکار <sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۲۲)						
خبرگان دلفی	یکنواختی استانداردهای ملی با استانداردهای بین‌المللی	۳۶				
خبرگان دلفی	پایداری و سرعت بالای اینترنت	۳۷				
خبرگان دلفی	تامین انرژی الکتریکی پایدار برای صنایع	۳۸				
وانخده و وینوده (۲۰۲۱)، السادی (۲۰۲۲)، اوزترک (۲۰۲۳)، کوردیرو و همکاران (۲۰۲۳)، اتیانی <sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۳)، رد و همکاران (۲۰۲۲)، یولاه <sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۲۱)، مایسیری (۲۰۲۱)	زیرساخت‌های فناوری‌های صنعت چهارم (نرم افزار و سخت افزار) سیاست‌های کلان دولت مشوق‌های دولتی و حمایت از تحقیق و توسعه	۳۹ ۴۰ ۴۱	حمایتی	۱۱		



1. Adebajo
2. Gadekar
3. Attiany
4. Ullah

## شکل ۲: مدل مفهومی پژوهش حاصل از بخش کیفی

در مرحله کمی جهت جمع‌آوری داده‌ها پرسشنامه محقق ساخته ۴۱ سوالی ( خروجی روش دلفی) مبتنی بر طیف لیکرت ۵ گزینه‌ای تهیه و بصورت در دسترس میان جامعه آماری توزیع شد. پس از عودت پرسشنامه‌ها جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و نیز بررسی برازش مدل نظری پژوهش، از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری روش حداقل مربعات جزئی با نرم افزار Smart PLS 4 استفاده شده است. روش حداقل مربعات جزئی به حجم نمونه حساسیت کمتری دارد و نیازی به نرمال بودن داده‌ها ندارد (داوری<sup>۱</sup> و رضازاده، ۲۰۱۴). در نهایت ضمن آزمون فرضیه‌های تحقیق، الگوی نهایی پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران ارائه شد. جامعه آماری این پژوهش در بخش کیفی ۱۵ نفر از خبرگان آشنا با فناوری‌های صنعت نسل چهارم در حوزه های مدیریت صنعتی، مدیریت تولید، مدیریت فناوری و مدیریت فناوری اطلاعات و متخصصان و کارشناسان صنعت قطعات خودرو با مدرک تحصیلی کارشناسی ارشد و بالاتر و حداقل ۱۰ سال تجربه بوده که با استفاده از نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. جدول ۵ ویژگی‌های جمعیت شناختی این افراد را نشان می‌دهد.

### جدول ۵: ویژگی‌های جمعیت شناختی خبرگان مرحله دلفی

تعداد کل خبرگان	تحصیلات		جنسیت		حوزه فعالیت	
	کارشناسی ارشد	دکتری	مرد	زن	دانشگاه	صنعت قطعه سازی
۱۵	۹	۶	۱۳	۲	۵	۱۰

جامعه آماری در بخش کمی تعداد ۳۵۴ نفر از افراد شاغل در صنعت قطعات خودرو در استانهای تهران و البرز با حداقل تحصیلات کارشناسی و ۵ سال تجربه می‌باشند. در روش مدلیابی معادلات ساختاری تعیین حجم نمونه می‌تواند بین ۵ تا ۱۵ مشاهده به ازای هر متغیر اندازه‌گیری شده (سوالات پرسشنامه) تعیین شود (هایر<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). بعلاوه با توجه به تعداد جامعه آماری تحقیق، حداقل حجم نمونه مورد نیاز براساس جدول مورگان ۱۸۶ و فرمول کوکران ۱۸۴ نمونه می‌باشد. در این پژوهش تعداد ۲۳۲ پرسشنامه مورد استناد قرار گرفت که با مقادیر بدست آمده جهت حجم نمونه همخوانی دارد. جدول ۶ و ۷ ویژگی‌های جمعیت شناختی این پژوهش در بخش کمی را نشان می‌دهد.

### جدول ۶: ویژگی‌های جمعیت شناختی (حوزه فعالیت)

حوزه فعالیت در صنعت قطعه‌سازی خودرو

تعداد کل	سایر اجزای خودرو	سیستم تهویه مطبوع	سیستم خنک کاری موتور	سیستم ترمز	سیستم خروج دود و اکزوز	سیستم سوخت رسانی	سیستم تعلیق و هدایت	سیستم انتقال قدرت	موتور و اجزای آن	فضای داخلی	قطعات برقی و الکتریکی	بدنه و شاسی
۲۳۲	۱۲	۱۶	۲۰	۱۶	۹	۱۸	۲۰	۱۷	۲۵	۱۲	۴۲	۲۵
%۱۰۰	%۵	%۷	%۹	%۷	%۴	%۸	%۹	%۷	%۱۱	%۵	%۱۸	%۱۱

در این تحقیق جهت سنجش روایی پرسشنامه از روش روایی صوری استفاده شده است. در این روش پرسشنامه در اختیار کارشناسان قرار می‌گیرد و از نظرات اصلاحی آنان در مورد نحوه تدوین سؤالات و گزینه‌ها استفاده می‌شود و به صورت صوری و با نظر متخصصان سؤالات حذف، اضافه و یا تغییر می‌کند (دراست<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). جهت بررسی روایی صوری نسخه اولیه پرسشنامه تدوین و در اختیار چند تن از اساتید دانشگاه در حوزه مدیریت صنعتی و فناوری قرار گرفت و براساس نظرات و پیشنهادات ایشان، محتوای پرسشنامه تصحیح و اصلاح گردید. روایی سازه الگوی مفهومی نیز از طریق محاسبه روایی همگرا و روایی واگرا در بخش برازش مدل اندازه‌گیری، مورد تایید قرار گرفت. برای بررسی پایایی نیز از روش آلفای کرونباخ استفاده شده است. بدین صورت که ۳۰ نمونه از پرسشنامه در ابتدا توزیع شد سپس از طریق نرم‌افزار SPSS مقدار آلفای کرونباخ محاسبه شد که برابر با ۰/۸۱۴ می‌باشد. با توجه به اینکه آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ نشانگر پایایی قابل قبول است (کرونباخ<sup>۲</sup>، ۱۹۵۱)، مقدار آلفای کرونباخ محاسبه شده نشان دهنده تایید پایایی پرسشنامه است.

#### جدول ۷: ویژگی‌های جمعیت شناختی (جنسیت، سابقه کار و سن)

جنسیت		میزان سابقه کار					سن						
مرد	زن	کلی	بیش از ۲۵ سال	بین ۲۰ تا ۲۵ سال	بین ۱۶ تا ۲۰ سال	بین ۱۱ تا ۱۵ سال	بین ۵ تا ۱۰ سال	کلی	زیر ۳۰ سال	بین ۳۰ تا ۳۵ سال	بین ۳۵ تا ۴۰ سال	بین ۴۰ تا ۴۵ سال	بیش از ۴۵ سال
۱۶۳	۶۹	۲۳۲	۱۸	۳۳	۴۸	۵۶	۷۷	۲۳۲	۴۳	۸۱	۷۰	۲۳	۱۵

1. Drost

2. Cronbach

%۱۰۰	%۶	%۱۰	%۳۰	%۳۵	%۱۹	%۱۰۰	%۸	%۱۴	%۲۱	%۲۴	%۳۳	%۳۰	%۷۰
------	----	-----	-----	-----	-----	------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

در این تحقیق جهت سنجش روایی پرسشنامه از روش روایی صوری استفاده شده است. در این روش پرسشنامه در اختیار کارشناسان قرار می‌گیرد و از نظرات اصلاحی آنان در مورد نحوه تدوین سؤالات و گزینه‌ها استفاده می‌شود و به صورت صوری و با نظر متخصصان سؤالات حذف، اضافه و یا تغییر می‌کند (دراست<sup>۱</sup>، ۲۰۱۱). جهت بررسی روایی صوری نسخه اولیه پرسشنامه تدوین و در اختیار چند تن از اساتید دانشگاه در حوزه مدیریت صنعتی و فناوری قرار گرفت و براساس نظرات و پیشنهادات ایشان، محتوای پرسشنامه تصحیح و اصلاح گردید. روایی سازه الگوی مفهومی نیز از طریق محاسبه روایی همگرا و روایی واگرا در بخش برازش مدل اندازه‌گیری، مورد تایید قرار گرفت. برای بررسی پایایی نیز از روش آلفای کرونباخ استفاده شده است. بدین صورت که ۳۰ نمونه از پرسشنامه در ابتدا توزیع شد سپس از طریق نرم‌افزار SPSS مقدار آلفای کرونباخ محاسبه شد که برابر با ۰/۸۱۴ می‌باشد. با توجه به اینکه آلفای کرونباخ بالاتر از ۰/۷ نشانگر پایایی قابل قبول است (کرونباخ<sup>۲</sup>، ۱۹۵۱)، مقدار آلفای کرونباخ محاسبه شده نشان دهنده تایید پایایی پرسشنامه است.

## یافته‌ها

قدم بعدی تعیین میزان تناسب (برازش) مدل حاصل از بخش کیفی است. به عبارت دیگر این بخش بدنبال پاسخ به این سوال است که آیا مدل بدست آمده از بخش کیفی، با داده‌های جمع‌آوری شده از طریق نمونه آماری پژوهش متناسب است یا خیر. در پژوهش حاضر بر طبق روش کم‌ترین مربعات جزئی جهت ارزیابی مدل، سه مرحله برازش مدل اندازه‌گیری، برازش مدل ساختاری و برازش کلی مدل (اندازه‌گیری و ساختاری) به ترتیب انجام شده است.

## برازش مدل اندازه‌گیری

جهت برازش مدل اندازه‌گیری، پایایی شاخص، روایی همگرا و روایی واگرا اندازه‌گیری و تحلیل می‌شود (هولاند<sup>۳</sup>، ۱۹۹۹). در این پژوهش پایایی شاخص با بررسی ضرایب بارهای عاملی، پایایی ترکیبی (CR)<sup>۴</sup> و آلفای کرونباخ محاسبه شده است. مقادیری که گویه‌ها (متغیرهای مشاهده‌پذیر) را به سازه‌ها (متغیرهای پنهان) متصل می‌کند، بارعاملی نام دارد. این مقادیر به استناد برخی منابع باید بزرگتر از ۰/۷ باشد (داوری و رضازاده، ۲۰۱۴). تحلیل

- 
1. Drost
  2. Cronbach
  3. Hulland
  4. Composite Reliability

بارهای عاملی این پژوهش در نرم‌افزار 4 Smart PLS نشان داد کلیه بارهای عاملی شاخص‌ها به غیر از ۳ شاخص «ریسک سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت چهارم»، «خطرات سیاسی و حقوقی» و «تأمین انرژی الکتریکی پایدار برای صنایع»، بزرگتر از مقدار ۰/۷ بوده‌اند. بنابراین ۳ شاخص مذکور از مدل حذف و مابقی مورد تایید قرار گرفتند. همچنین ضرایب مسیر در کلیه مسیرها مثبت بوده که نشان‌دهنده رابطه مثبت میان سازه‌های مدل است. شکل ۴ مقادیر بارهای عاملی و ضرایب مسیر پس از اصلاح مدل را نشان می‌دهد. مقدار پایایی ترکیبی (CR) بالای ۰/۷ برای هر سازه، نشان از پایداری درونی مناسب برای مدل‌های اندازه‌گیری داشته و مقدار کمتر از ۰/۶ عدم وجود پایایی را نشان می‌دهد (وینزی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین در مورد متغیرهای با تعداد سؤال‌های کم، مقدار ضریب آلفای ۰/۶ به عنوان سرحد ضریب معرفی و بالاتر از ۰/۷ نشانگر پایایی قابل قبول است (کرونباخ، ۱۹۵۱). مقادیر پایایی ترکیبی (CR) و آلفای کرونباخ متغیرهای پنهان این پژوهش در جدول ۸ نشان داده شده است. بررسی بارهای عاملی، پایایی ترکیبی (CR) و آلفای کرونباخ در این پروژه پس از اصلاح مدل، نشان می‌دهد که کلیه مولفه‌ها در وضعیت قابل قبول می‌باشند. بنابراین پایایی شاخص تایید می‌گردد.

جهت بررسی روایی همگرا باید میانگین واریانس استخراج شده<sup>۲</sup> (AVE) محاسبه می‌شود که مقادیر بزرگتر از ۰/۵ مورد تایید می‌باشد (هایر و همکاران، ۲۰۲۱). میانگین واریانس استخراج شده (AVE) نشان‌دهنده میانگین واریانس به اشتراک گذاشته شده بین هر سازه با شاخص‌های خود است. روایی همگرا زمانی وجود دارد که پایایی ترکیبی (CR) از ۰/۷ بزرگتر باشد. همچنین پایایی ترکیبی (CR) باید از میانگین واریانس استخراج شده (AVE) بزرگتر باشد (بارکلی<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۵). در این پژوهش در کلیه متغیرهای پنهان شرط مذکور برقرار است بنابراین روایی همگرایی تایید می‌گردد. جدول ۸ میانگین واریانس استخراج شده (AVE) و مقایسه آن با پایایی ترکیبی (CR) را نشان می‌دهد.

---

1. Vinzi  
2. Average Variance Extracted  
3. Barclay





شکل ۳: بارهای عاملی و ضرایب مسیر پس از اصلاح مدل

جدول ۸: آلفای کرونباخ و مقایسه میانگین واریانس استخراج شده (AVE) و پایایی ترکیبی (CR)

متغیرهای پنهان	آلفای کرونباخ	روایی همگرا (AVE)	پایایی ترکیبی (CR)	وضعیت
بعد اجتماعی	۰/۸۲۴	۰/۷۳۹	۰/۸۹۴	CR > AVE
بعد اقتصادی	۰/۸۳۴	۰/۷۴۸	۰/۸۹۹	CR > AVE
بعد انسانی	۰/۹۲۹	۰/۸۷۶	۰/۹۵۵	CR > AVE
بعد بازار	۰/۸۸۲	۰/۸۱۰	۰/۹۲۷	CR > AVE
بعد تجاری	۰/۷۸۶	۰/۷۰۰	۰/۸۷۵	CR > AVE
بعد فناورانه	۰/۹۱۷	۰/۷۱۱	۰/۹۳۶	CR > AVE
بعد حقوقی	۰/۸۳۵	۰/۷۵۱	۰/۹۰۰	CR > AVE

وضعیت	پایایی ترکیبی (CR)	روایی همگرا (AVE)	آلفای کرونباخ	متغیرهای پنهان
CR > AVE	۰/۹۳۸	۰/۷۹۰	۰/۹۱۱	بعد حمایتی
CR > AVE	۰/۹۱۴	۰/۷۸۱	۰/۸۵۶	بعد ذینفعان
CR > AVE	۰/۸۷۷	۰/۷۰۵	۰/۷۹۰	بعد محیطی
CR > AVE	۰/۹۱۹	۰/۷۴۰	۰/۸۷۹	بعد مدیریتی
CR > AVE	۰/۸۸۱	۰/۵۵۴	۰/۸۳۵	عوامل بین المللی
CR > AVE	۰/۹۳۱	۰/۵۲۲	۰/۹۱۹	عوامل سازمانی
CR > AVE	۰/۹۴۶	۰/۶۶۲	۰/۹۳۶	عوامل صنعتی
CR > AVE	۰/۹۲۳	۰/۵۴۹	۰/۹۰۵	عوامل ملی
CR > AVE	۰/۹۵۶	۰/۵۳۲	۰/۹۵۲	پذیرش صنعت چهارم

هنسلر<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۵) یک رویکرد جدید بر اساس ماتریس چند صفتی- چند روشی، برای ارزیابی اعتبار تمایز پیشنهاد کردند که به اختصار نسبت روایی یگانه-دوگانه<sup>۲</sup> (HTMT) نامگذاری شده است که نحوه محاسبه آن در شکل ۵ نمایش داده شده است. در این روش اگر مقادیر HTMT کمتر از ۰/۹ باشد روایی و اگر قابل قبول است.

$$HTMT_{ij} = \frac{\text{میانگین همبستگی سوالات هر دو متغیر با هم}}{\left( \frac{\text{میانگین همبستگی سوالات متغیر اول}}{\left( \frac{\text{میانگین همبستگی سوالات متغیر دوم}}{\left( \frac{1}{K_i K_j} \sum_{g=1}^{K_i} \sum_{h=1}^{K_j} r_{ig,jh} \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{2}{K_i(K_i-1)} \cdot \sum_{g=1}^{K_i-1} \sum_{h=g+1}^{K_i} r_{ig,ih} \right)} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \left( \frac{2}{K_j(K_j-1)} \cdot \sum_{g=1}^{K_j-1} \sum_{h=g+1}^{K_j} r_{jg,jh} \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

فرمول محاسبه HTMT (هنسلر و همکاران، ۲۰۱۵)

جدول ۹ ماتریس HTMT مربوط به متغیرهای این تحقیق را نشان می‌دهد که مقدار HTMT در کلیه حالات کمتر از ۰/۹ بوده بنابراین روایی و اگرایی مدل در این روش نیز تایید می‌گردد.

1. Henseler  
2. Heterotrait-monotrait ratio

## جدول ۹: ماتریس HTMT

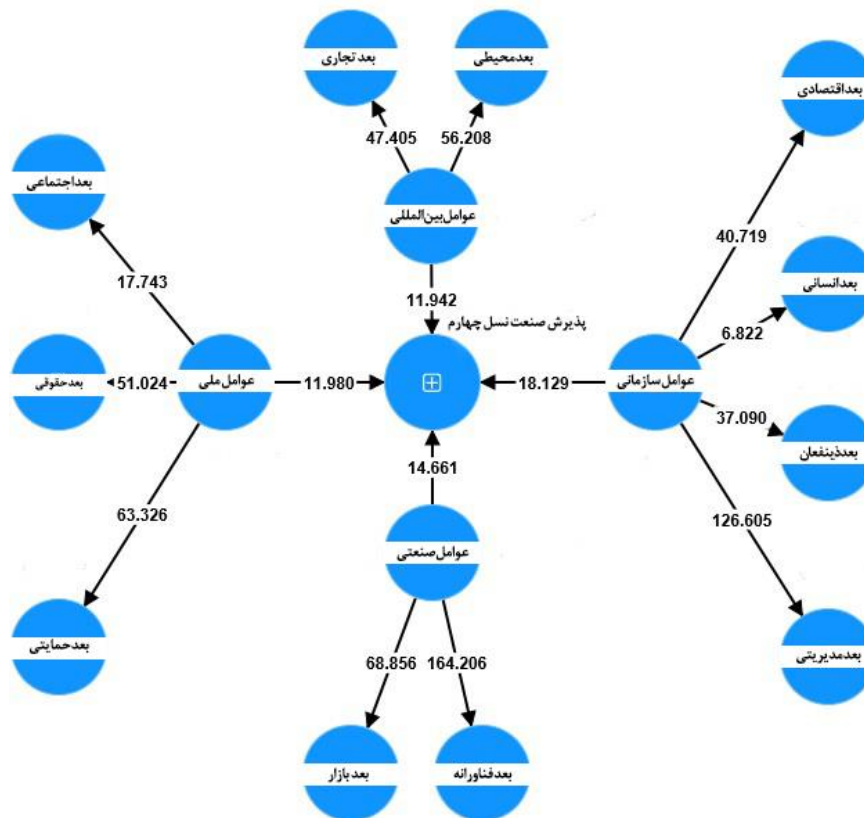
عوامل صنعتی	عوامل سازمانی	عوامل	بعد مدیریتی	بعد محیطی	بعد ذینفعان	بعد حمایتی	بعد حقوقی	بعد فناورانه	بعد تجاری	بعد بازار	بعد انسانی	بعد اقتصادی	بعد اجتماعی	
بعد اقتصادی												۰/۵۶۱		
بعد انسانی											۰/۲۸۹	۰/۳۱۹		
بعد بازار											۰/۲۵۲	۰/۶۵۶	۰/۴۸۹	
بعد تجاری										۰/۴۱۶	۰/۳۳۱	۰/۳۵۱	۰/۴۱۷	
بعد فناورانه									۰/۳۹۰	۰/۸۵۰	۰/۲۱۶	۰/۳۶۸	۰/۴۵۸	
بعد حقوقی								۰/۳۷۹	۰/۶۶۰	۰/۴۴۳	۰/۴۷۲	۰/۴۸۰	۰/۵۴۶	
بعد حمایتی							۰/۸۱۰	۰/۲۵۱	۰/۴۱۸	۰/۲۸۶	۰/۳۲۲	۰/۳۴۲	۰/۵۵۰	
بعد ذینفعان						۰/۳۱۴	۰/۴۲۶	۰/۶۰۴	۰/۳۹۱	۰/۷۰۲	۰/۲۶۵	۰/۸۰۳	۰/۴۸۰	
بعد محیطی				۰/۴۰۲		۰/۶۶۵	۰/۷۹۵	۰/۴۵۲	۰/۷۳۰	۰/۴۱۵	۰/۳۹۴	۰/۵۵۰	۰/۶۳۰	
بعد مدیریتی			۰/۴۴۵	۰/۸۷۷		۰/۳۷۹	۰/۵۲۷	۰/۵۲۹	۰/۳۷۲	۰/۶۳۳	۰/۴۹۶	۰/۸۶۵	۰/۴۷۲	
پذیرش صنعت چهارم			۰/۸۴۷	۰/۸۱۴	۰/۸۰۸	۰/۶۷۳	۰/۸۲۰	۰/۷۸۳	۰/۶۸۶	۰/۸۰۹	۰/۵۴۵	۰/۸۴۳	۰/۷۵۱	
عوامل سازمانی														۰/۵۳۴
عوامل صنعتی														۰/۶۴۸
عوامل ملی														۰/۴۳۸

## برازش مدل ساختاری

در بررسی مدل ساختاری روابط بین متغیرهای پنهان با یکدیگر تجزیه و تحلیل می‌شود. در این مرحله معیارهای ضرایب معناداری (t-values)، ضریب تشخیص<sup>۱</sup> ( $R^2$ ) و معیار استون-گیسر<sup>۲</sup> ( $Q^2$ ) برای برازش مدل ساختاری این تحقیق بررسی شدند. مقادیر t صحت و تأیید ارتباط بین دو سازه را نمایش می‌دهد. در صورتی که مقدار بحرانی در سطح ۰/۰۱ در نظر گرفته شود مقادیر t باید از ۲/۵۸ بیشتر باشد تا صحت رابطه بین سازه‌های مدل تأیید گردد (هایر و همکاران، ۲۰۲۱). در شکل ۶ مقادیر t مدل تحقیق نشان داده شده است. با توجه به اینکه تمام اعداد واقع بر مسیرها بالاتر از ۲/۵۸ هستند، این مطلب حاکی از معنادار بودن مسیرهای مدل تحقیق است.

1. R Squares  
2. Stone-Geisser

مقدار  $R^2$  نشان دهنده تاثیر متغیر برونزا (مستقل) بر متغیرهای درونزا (وابسته) است. معمولاً از مقادیر  $R^2$  ۰/۱۹، ۰/۳۳ و ۰/۶۷ بعنوان ملاک ضعیف، متوسط و قوی  $R^2$  استفاده می‌شود (چین<sup>۱</sup>، ۱۹۹۸). نتایج بررسی  $R^2$  در این پژوهش نشان می‌دهد که مقدار  $R^2$  متغیر بعد انسانی ۰/۲۶۹ می‌باشد که شرایط متوسط قرار می‌گیرد. سایر متغیرها بیشتر از ۰/۶۷ بوده که نشان دهنده برازش مناسب مدل تحقیق است. مقدار  $Q^2$  قدرت پیش‌بینی مدل را مشخص می‌سازد که سه مقدار ۰/۰۲، ۰/۱۵ و ۰/۳۵ را به ترتیب به عنوان قدرت پیش‌بینی ضعیف، متوسط و قوی تعیین نموده‌اند (استون، ۱۹۷۴؛ گیسر، ۱۹۷۴). جدول ۱۰ مقادیر  $R^2$  و  $Q^2$  مدل تحقیق را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه معیارهای ضرایب معناداری (t-values)، ضریب تشخیص ( $R^2$ ) و معیار استون-گیسر ( $Q^2$ ) از وضعیت مطلوب و قابل قبولی برخوردار می‌باشند برازش مدل ساختاری پژوهش تایید می‌گردد.



شکل ۴: مدل ساختاری در حالت معناداری

1. Chin

جدول ۱۰: مقادیر  $Q^2$  و  $R^2$ 

$Q^2$	$R^2$	متغیرهای درون‌زا
۰/۵۲۶	۰/۵۳۱	بعد اجتماعی
۰/۷۴۵	۰/۷۴۸	بعد اقتصادی
۰/۲۶۲	۰/۲۶۹	بعد انسانی
۰/۸۲۰	۰/۸۲۱	بعد بازار
۰/۷۷۶	۰/۷۷۸	بعد تجاری
۰/۹۳۷	۰/۹۳۷	بعد فناورانه
۰/۷۵۶	۰/۷۵۹	بعد حقوقی
۰/۸۳۵	۰/۸۳۶	بعد حمایتی
۰/۷۴۸	۰/۷۵۲	بعد ذینفعان
۰/۸۰۰	۰/۸۰۱	بعد محیطی
۰/۹۰۰	۰/۹۰۱	بعد مدیریتی

### بحث و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این تحقیق ارائه الگویی است که بتواند عوامل و شاخص‌های موثر بر تصمیم شرکت‌های قطعه‌سازی خودروی ایران جهت پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم را به صورت یکپارچه نمایش دهد. جهت رسیدن به این هدف از روش تحقیق آمیخته اکتشافی طی دو بخش کیفی و کمی استفاده شد. در بخش کیفی ابتدا با استفاده از روش فراترکیب و بررسی مقالات معتبر بین‌المللی و داخلی مرتبط، ۴۹ عامل موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم شناسایی شدند. در مرحله دلفی عوامل بدست آمده توسط خبرگان غربالگری و عوامل بومی خاص ایران نیز به آن اضافه شدند. در نهایت ۴۱ شاخص در قالب ۱۱ بعد و ۴ عامل اصلی شناسایی شده (جدول ۴) و مدل مفهومی پژوهش ترسیم شد (شکل ۳). سپس براساس نتایج مرحله کیفی و اهداف اصلی تحقیق، فرضیه‌های اصلی تحقیق شکل گرفتند. در بخش کمی با تجزیه و تحلیلی داده‌های حاصل از ۲۳۲ پرسشنامه با استفاده از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری و روش کم‌ترین مربعات جزئی، سنجش اعتبار مدل مفهومی پژوهش پس از اصلاحات لازم انجام گرفت. این الگو (شکل ۴) پاسخ به سوال اصلی تحقیق می‌باشد. جهت پاسخ به سوال فرعی اول شاخص‌های عمومی موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران که در مرحله فراترکیب و دلفی شناسایی شده و در مرحله کمی مورد تایید قرار گرفتند، براساس مقدار بارعاملی (شکل ۴) رتبه‌بندی شدند. جدول ۱۱ نتایج این رتبه‌بندی را نشان می‌دهد.

## جدول ۱۱: رتبه‌بندی شاخص‌های عمومی

رتبه	شاخص	بار عاملی
۱	یکپارچه‌سازی عمودی و افقی	۰/۹۵۷
۲	مقاومت در برابر تغییر در سازمان	۰/۹۴۶
۳	نیروی کار ماهر در زمینه فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۹۴۴
۴	مدل‌های کسب و کار جدید	۰/۹۴۰
۵	مشوق‌های دولتی و حمایت از تحقیق و توسعه	۰/۹۳۵
۶	مزیت رقابتی	۰/۹۲۲
۷	پیچیدگی فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۹۲۱
۸	دانش، تخصص و فرهنگ دیجیتالی سازی	۰/۹۱۷
۹	ارزش‌ها، اخلاق اجتماعی و فرهنگ حاکم بر جامعه	۰/۹۰۱
۱۰	بیکاری تکنولوژیکی و ناامنی شغلی	۰/۹۰۱
۱۱	سیاست‌های کلان دولت	۰/۸۹۸
۱۲	روند بازار	۰/۸۹۶
۱۳	زیرساخت‌های فناوری‌های صنعت چهارم (نرم افزار و سخت افزار)	۰/۸۹۶
۱۴	مدیریت تکنولوژی و نوآوری در سازمان	۰/۸۸۶
۱۵	حفاظت از حقوق مالکیت معنوی و اسرار تجاری	۰/۸۸۱
۱۶	مهاجرت گسترده نیروهای متخصص	۰/۸۷۲
۱۷	منابع مالی اختصاصی جهت تحقیق و توسعه	۰/۸۷۱
۱۸	اثرات اقتصادی فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۸۶۷
۱۹	مقررات، استانداردها و گواهینامه‌ها در زمینه صنعت چهارم	۰/۸۶۵
۲۰	خطر شکست فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۸۶۱
۲۱	سازگاری فناوری‌های صنعت چهارم با تکنولوژی موجود	۰/۸۶۱
۲۲	منابع مالی جهت سرمایه‌گذاری در فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۸۵۷
۲۳	ظرفیت جذب سازمانی	۰/۸۵۲
۲۴	ارائه دهندگان فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۸۵۰
۲۵	همکاری‌های تجاری بین شرکتی و بین‌المللی	۰/۸۳۹
۲۶	اثرات زیست محیطی فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۸۳۱
۲۷	پیامدهای اجتماعی فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۸۱۵
۲۸	امنیت سایبری و حفظ حریم خصوصی کاربران	۰/۸۰۷
۲۹	آموزش و تحقیقات در زمینه صنعت چهارم	۰/۷۶۹
۳۰	فشار رقبا	۰/۷۵۷
۳۱	مزایای فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۷۵۰
۳۲	استراتژی سازمان نسبت به فناوری‌های صنعت چهارم	۰/۷۳۰

جهت پاسخ به سوال فرعی دوم شاخص‌های اختصاصی موثر بر پذیرش فناوری‌های صنعت چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران که در مرحله دلفی معرفی شده و در مرحله کمی مورد تایید قرار گرفتند، براساس مقدار بارعاملی (شکل ۴) رتبه‌بندی شدند. جدول ۱۲ نتایج این رتبه‌بندی را نشان می‌دهد.

### جدول ۱۲: رتبه‌بندی شاخص‌های اختصاصی

ردیف	شاخص	بار عاملی
۱	تقاضا قطعات با تکنولوژی‌های جدید از جانب خودروسازان	۰/۹۵۹
۲	استفاده از فناوری‌های صنعت چهارم در خودروهای داخلی	۰/۹۱۳
۳	یکنواختی استانداردهای ملی با استانداردهای بین‌المللی	۰/۸۵۳
۴	پایداری و سرعت بالای اینترنت	۰/۸۲۳
۵	تحریم‌های بین‌المللی ایران	۰/۸۲۰
۶	عقب ماندگی توسعه صنعتی ایران	۰/۷۹۵

شاخص‌های عمومی شناسایی شده در این تحقیق که در اکثر مقالات مرتبط با پذیرش صنعت چهارم وجود دارند، بیانگر اهمیت آن در سطح شرکت‌های قطعه‌سازی خودروی ایران است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ۳۲ شاخص عمومی در پذیرش فناوری‌های نسل چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران موثر هستند. لکن برخی از شاخص‌ها از اهمیت بیشتری در این زمینه برخوردار هستند. براساس نتایج رتبه‌بندی این شاخص‌ها که در جدول ۱۱ نشان داده شده است، شاخص‌های «یکپارچه‌سازی عمودی و افقی»، «مقاومت در برابر تغییر در سازمان»، «نیروی کار ماهر در زمینه فناوری‌های صنعت چهارم»، «مدل‌های کسب و کار جدید» و «مشوق‌های دولتی و حمایت از تحقیق و توسعه» به ترتیب بیشترین بار عاملی را دارند که نشان از اهمیت بالای آنها است. در زمینه ادغام عمودی استفاده از یک سیستم برنامه‌ریزی منابع سازمانی<sup>۱</sup> (ERP) مناسب و دیجیتالی کردن کل زنجیره تولید، جهت یکپارچگی و بهبود عملکرد سازمان پیشنهاد می‌شود. در زمینه ادغام افقی نیز تشکیل یک شبکه دیجیتالی کارآمد از شرکای زنجیره‌ی تامین و مشتریان پیشنهاد می‌شود. همچنین جهت کاهش مقاومت کارکنان در برابر تغییر توجه به آموزش کارکنان از طریق برگزاری دوره‌های آموزشی در سازمان، تهیه انواع جزوه‌ها و بروشورها و ارائه به کارکنان و برگزاری سخنرانی‌ها پیرامون صنعت چهارم پیشنهاد می‌گردد. همچنین استفاده از روش‌های ارتباطی مانند ایمیل، شبکه‌های اجتماعی و اتوماسیون داخلی جهت پاسخگویی به سوالات و دریافت بازخورد کارکنان می‌تواند نقش مهمی در کاهش مقاومت کارکنان در برابر تغییر، افزایش پتانسیل یادگیری و پذیرش فناوری‌های جدید داشته باشد. پذیرش صنعت نسل چهارم بدون در اختیار داشتن نیروهای متخصص

1. Enterprise Resource Planning

امکان پذیر نمی باشد. شرکت های قطعه سازی خودرو جهت پذیرش صنعت چهارم می بایست نسبت به ارتقاء مهارت های نیروهای خود و یا جذب نیروهای متخصص در این حوزه اقدام نمایند. بعلاوه باید به این نکته توجه کرد که عدم توجه به نخبگان و متخصصان حوزه صنعت چهارم و جایگاه آنها موجب مهاجرت گسترده آنها می شود. در این زمینه استفاده از تجربیات شرکت های پیشرو در این صنعت و اتخاذ سیاست های جذب و نگهداری نخبگان پیشنهاد می گردد. بدلیل تحولات سریع فناوری های نوین در صنایع، تغییرات اساسی برای پیاده سازی مدل های کسب و کار جدید ضروری است اما از آنجایی که پیش بینی این تغییرات دشوار است بنابراین در این زمینه استفاده از تکنیک های پیش بینی فناوری مانند دلفی، تجزیه و تحلیل روند، مدل سازی و سناریو به شرکت ها و سازمانهای فعال در این حوزه پیشنهاد می گردد.

در میان شاخص های عمومی شاخص «مشوق های دولتی و حمایت از تحقیق و توسعه» نیز از اهمیت ویژه ای برخوردار است. سیاست های حمایتی در کشورهای مختلف با یکدیگر تفاوت دارد دولت ها و سیاستگذاران براساس ویژگی های بخش کسب و کار و استراتژی های کلان آن کشور مجموعه های مختلفی از این سیاست ها را به کار می بندند. پیشنهادهای زیر جهت حمایت از تحقیق و توسعه در ایران ارائه می شود :

۱. کمک های مالی بلاعوض، یارانه ها و وام ها به مراکز تحقیق و توسعه و شرکت های دانش بنیان
۲. ارائه مشوق های مالیاتی به مراکز تحقیق و توسعه و شرکت های دانش بنیان
۳. حمایت از پژوهش های مشترک
۴. حمایت از نیروهای انسانی متخصص و نخبه در دانشگاه ها و مراکز تحقیقاتی
۵. ایجاد تقاضا محصولات فناورانه در صنایع داخلی
۶. شبکه سازی مراکز تحقیق و توسعه
۷. استاندارد گذاری و اصلاح قوانین متناسب با پیشرفت فناوری

شاخص های اختصاصی شناسایی شده در این تحقیق که توسط گروه خبرگان در مرحله دلفی معرفی شدند، بیانگر اهمیت ویژه آن در سطح شرکت های قطعه سازی خودروی ایران است. نتایج نهایی این تحقیق نشان می دهد که ۶ شاخص اختصاصی در پذیرش فناوری های نسل چهارم در صنعت قطعه سازی خودروی ایران موثر هستند که در جدول شماره ۱۲ رتبه بندی شده اند. در میان این شاخص های «تقاضا قطعات با تکنولوژی های جدید از جانب خودروسازان» و «استفاده از فناوری های صنعت چهارم در خودروهای داخلی» به ترتیب بیشترین اهمیت را دارند. تولید خودروهای الکتریکی و هوشمند توسط خودروسازان داخلی منجر به افزایش تقاضا برای قطعات با تکنولوژی های جدید و تلاش قطعه سازان داخلی جهت تولید این قطعات می شود. همچنین پیشنهاد می گردد



شرکت‌های قطعه‌سازی با انتقال فناوری‌های پیشرفته تولید قطعات خودرو از کشورهای صنعتی و پیشرو مانند چین، زمینه تولید قطعات با فناوری‌های نوین و قرارگیری در زنجیره تامین شرکت‌های بین‌المللی تولید خودرو را فراهم کنند.

تدوین استانداردهای مورد نیاز صنعت چهارم و هماهنگ‌سازی این استانداردها با استانداردهای بین‌المللی اهمیت ویژه‌ای در پذیرش صنعت چهارم در صنعت قطعه‌سازی خودروی ایران دارد. استانداردهای این حوزه باید شامل تمام مراحل چرخه عمر این فناوری‌ها، از جمله جمع‌آوری داده‌ها، آموزش، یادگیری مستمر، طراحی، آزمایش، ارزیابی و استفاده را پوشش دهد. بیشتر کشورهای مطرح در حوزه صنعت چهارم، فعالیت خود را در سطح بین‌المللی انجام داده و از اسناد بین‌المللی در کشور خود استفاده می‌کنند. لذا لازم است سازمان ملی استاندارد و سایر سازمان‌ها با سازمان‌های بین‌المللی همکاری کرده و از اسناد تدوین شده این سازمان‌ها که دارای اجماع جهانی است استفاده نمایند. همچنین اینترنت پایدار و با سرعت بالا از جمله زیرساخت‌های بديهی توسعه صنعت چهارم در صنایع به شمار می‌رود که در میان شاخص‌های اختصاصی به آن اشاره شده است. لذا توسعه زیرساخت‌های اینترنت و اتصال شرکت‌های قطعه‌سازی به شبکه فیبر نوری می‌تواند پایداری و سرعت اینترنت در این شرکت‌ها را افزایش دهد. تحریم‌های بین‌المللی ایران یکی از چالش‌های مهم در زمینه پیاده‌سازی صنعت چهارم در صنایع قطعه‌سازی خودروی ایران است. این تحریم‌ها مانع بزرگی در راه ورود تجهیزات پیشرفته مرتبط و همکاری با شرکت‌های بین‌المللی پیشرو در این زمینه به شمار می‌رود. در این زمینه کشورهای چین و روسیه بدلیل مشکلاتی که با آمریکا دارند، آمادگی بیشتری جهت همکاری با شرکت‌های ایرانی دارند. لذا شرکت‌های قطعه‌سازی می‌توانند همکاری‌های خود با شرکای چینی و روسی را افزایش دهند. همچنین این شرکت‌ها می‌توانند با استفاده از امکاناتی فراتر از روال‌های مرسوم بین کشورها، نیازهای فناورانه خود را مرتفع سازند.

در روش دلفی انجام شده در این پژوهش، همانند اغلب مطالعات مبتنی بر روش‌های کیفی، یافته‌ها با اتکا به دیدگاه‌ها و تجربیات افراد محدودی (۱۵ نفر) حاصل شده است که این نارسایی می‌تواند تعمیم‌پذیری نظری یافته‌های تحقیق را با محدودیت‌هایی همراه کند. همچنین در بخش کمی پژوهش، جامعه آماری تحقیق از میان کارکنان شاغل در شرکت‌های قطعه‌سازی واقع در استان‌های تهران و البرز انتخاب شدند. بدلیل وجود تفاوت‌های اجتماعی، فرهنگی، اقتصادی و غیره، نتایج حاصل از تحقیق در سایر شهرها و جوامع آماری ممکن است متفاوت باشد. بعلاوه نتایج این تحقیق تنها قابل تعمیم به شرکت‌های فعال در صنعت قطعه‌سازی خودرو است. لذا در صورت نیاز به تعمیم به سایر بخش‌های صنعت خودرو، ضمن رعایت احتیاط، می‌بایست از نظرات متخصصان آن صنایع نیز بهره جست.

یافته‌های پژوهش حاضر، فرصت‌های تحقیقاتی متعددی را برای محققان پیشنهاد می‌کند. در تحقیقات آتی با استفاده از تکرار این الگو در سایر صنایع بخش خودرو می‌توان نسبت به اعتبار عملی این الگو اظهار نظر کرد.

همچنین بررسی عوامل موثر در پذیرش هریک از فناوری‌های صنعت چهارم (مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا) در صنایع مختلف می‌تواند مدنظر محققان قرار گیرد. بعلاوه محققان در مطالعات آتی می‌توانند با تمرکز بر شناسایی چالش‌ها و موانع پذیرش صنعت چهارم در صنایع، راه‌حل‌های مناسب جهت رفع آن‌ها را ارائه دهند. علاوه بر این بررسی عمیق اثرات اجتماعی و فرهنگی فناوری‌های صنعت چهارم در صنایع، زمینه دیگریست که می‌تواند مورد مطالعه قرار گیرد.

## منابع

- Adebanjo, D., Laosirihongthong, T., Samaranayake, P., & Teh, P. L. (2021). Key enablers of industry 4.0 development at firm level: Findings from an emerging economy. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3046764>
- Ahadiani, M., Masoudi, O. A., Malaek, S. M. B., & Majidi Gahroudi, N. (2022). Identifying the Drivers and Propellants of IoT Application in the Management of Iran's Aviation Industry [In Persian]. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 19(Special Issue), 597-618. Doi: 10.48301/kssa.2022.316253.1870
- Alsaadi, N. (2022). Modeling and Analysis of Industry 4.0 Adoption Challenges in the Manufacturing Industry. *Processes*, 10(10), 2150. <https://doi.org/10.3390/pr10102150>
- Attiany, M., Al-kharabsheh, S., Abed-Qader, M., Al-Hawary, S., Mohammad, A., & Rahamneh, A. (2023). Barriers to adopt industry 4.0 in supply chains using interpretive structural modeling. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), 299-306. <http://growingscience.com/beta/uscm/5849-barriers-to-adopt-industry-40-in-supply-chains-using-interpretive-structural-modeling.html>
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107776>
- Bajic, B., Rikalovic, A., Suzic, N., & Piuri, V. (2020). Industry 4.0 implementation challenges and opportunities: A managerial perspective. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 546-559. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3023041>
- Barclay, D., Higgins, C., & Thompson, R. (1995). The partial least squares (PLS) approach to causal modeling: Personal computer adoption and use as an illustration. *Technology studies*.
- Bholane, Kishor. (2023). Adoption, Status and Environmental Sustainability of Industry 4.0 in India. 8.865-870. [https://www.researchgate.net/publication/367053196\\_Adoption\\_Status\\_and\\_Environmental\\_Sustainability\\_of\\_Industry\\_40\\_in\\_India](https://www.researchgate.net/publication/367053196_Adoption_Status_and_Environmental_Sustainability_of_Industry_40_in_India)
- Birkel, H. S., Veile, J. W., Müller, J. M., Hartmann, E., & Voigt, K. I. (2019). Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers. *Sustainability*, 11(2), 384. <https://doi.org/10.3390/su11020384>
- Cassia, F., & Ferrazzi, M. (2018). *The economics of cars*. Newcastle upon Tyne: Agenda publishing. <https://doi.org/10.1017/9781911116738>
- Čater, T., Čater, B., Černe, M., Koman, M. and Redek, T. (2021). Industry 4.0 technologies usage: motives and enablers. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 32 No. 9, pp. 323-345. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2021-0026>

- Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2021). Barriers to industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124809>
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern methods for business research*, 295(2), 295-336. <https://books.google.com/>
- Cordeiro, R. F., Reis, L. P., & Fernandes, J. M. (2023). A study on the barriers that impact the adoption of Industry 4.0 in the context of Brazilian companies. *The TQM Journal*. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0239>
- Cronbach, L. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297-334. <https://doi.org/10.1007/BF02310555>
- Davari, A., & Rezazadeh, A. (2014). Structural equation modeling by PLS [In Persian]. University Jihad Publishing Organization. <https://www.isba.ir/Default/BookDetail/18601>
- Drost, E. A. (2011). Validity and reliability in social science research. *Education Research and Perspectives*, 38(1), 105–123. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.491551710186460>
- Ferreira, J. J., Lopes, J. M., Gomes, S., & Rammal, H. G. (2023). Industry 4.0 implementation: Environmental and social sustainability in manufacturing multinational enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 404, 136841. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136841>
- Fettermann, D. C., Cavalcante, C. G. S., Almeida, T. D. D., & Tortorella, G. L. (2018). How does Industry 4.0 contribute to operations management? *Journal of industrial and Production Engineering*, 35(4), 255-268. <https://doi.org/10.1080/21681015.2018.1462863>
- Gadekar, R., Sarkar, B., & Gadekar, A. (2022). Investigating the relationship among Industry 4.0 drivers, adoption, risks reduction, and sustainable organizational performance in manufacturing industries: An empirical study. *Sustainable Production and Consumption*, 31, 670-692. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.010>
- Gallab, M., Bouloiz, H., Kebe, S. A., & Tkiouat, M. (2021). Opportunities and challenges of the Industry 4.0 in industrial companies: A survey on Moroccan firms. *Journal of Industrial and Business Economics*, 48(3), 413-439. <https://doi.org/10.1007/s40812-021-00190-1>
- Geisser, S. (1974). A Predictive Approach to the Random Effects Model, *Biometrika*, 61(1): 101-107. <https://doi.org/10.1093/biomet/61.1.101>
- Ghadimi, P., Donnelly, O., SAR, K., Wang, C., & Azadnia, A. H. (2022). The successful implementation of industry 4.0 in manufacturing: An analysis and prioritization of risks in Irish industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121394. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121394>
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Vilkas, M., Grybauskas, A., & Amran, A. (2022). Drivers and barriers of Industry 4.0 technology adoption among manufacturing SMEs: a systematic review

- and transformation roadmap. *Journal of Manufacturing Technology Management*, (ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/JMTM-12-2021-0505>
- Ghosh, R. K., Banerjee, A., Aich, P., Basu, D., & Ghosh, U. (2022). Intelligent IoT for Automotive Industry 4.0: Challenges, Opportunities, and Future Trends. *Intelligent Internet of Things for Healthcare and Industry*, 327-352. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-81473-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-81473-1_16)
- Govindan, K., & Arampatzis, G. (2023). A framework to measure readiness and barriers for the implementation of Industry 4.0: A case approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59, 101249. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101249>
- Habraken, M., & Bondarouk, T. (2020). Embracing variety in decision-making regarding adoption of industry 4.0. *Administrative Sciences*, 10(2), 30. <https://doi.org/10.3390/admsci10020030>
- Hair Jr, J. F., Hult, G. T. M., Ringle, C. M., Sarstedt, M., Danks, N. P., & Ray, S. (2021). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) using R: A workbook (p. 197). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Havle, C. A., & Üçler, Ç. (2018). Enablers for industry 4.0. In 2018 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT). Ankara, Turkey, 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ISMSIT.2018.8567293.
- Hayat, A., Shahare, V., Sharma, A. K., & Arora, N. (2023). Introduction to Industry 4.0. In *Blockchain and its Applications in Industry 4.0* (pp. 29-59). Singapore: Springer Nature Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-8730-4\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-19-8730-4_2)
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the academy of marketing science*, 43, 115-135. <https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8>
- Himang, C., Ocampo, L., Obiso, J. J., Bongo, M., Caballes, S. A., Abellana, D. P. ... & Ancheta, R. (2020). Defining stages of the Industry 4.0 adoption via indicator sets. *Engineering Management in Production and Services*, 12(2), 32-55. <https://doi.org/10.2478/emj-2020-0010>
- Hulland, J. (1999). Use of partial least squares (PLS) in strategic management research: a review of four recent studies. *Strategic management journal*, 20(2), 195-204. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097)
- Jain, V., & Ajmera, P. (2020). Modelling the enablers of industry 4.0 in the Indian manufacturing industry. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-07-2019-0317>
- Javaid, M., Khan, S., Haleem, A., & Rab, S. (2022). Adoption of modern technologies for implementing industry 4.0: an integrated MCDM approach. *Benchmarking: An International Journal*, (ahead-of-print). <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2021-0017>

- Karabegović, I., Karabegović, E., Mahmić, M., & Husak, E. (2021). The application of Industry 4.0 in production processes of the automotive industry. *J. Mobil. Vehicle, University of Kragujevac, Faculty of Engineering, Kragujevac, Serbia*, 47(2), 35-44. DOI: 10.24874/mvm.2021.47.02.02
- Karbasi, S., Hashemzadeh Khoorasgani, G., Khamseh, A., & Fathi Hafshejani, K. (2022). Identifying and Prioritizing the Key Effective Factors on the Industry 4.0 Technology Roadmap with an Approach to Economic Productivity Development in Power Planet Equipment and Energy Supply Industries [In Persian]. *Quarterly Journal of Applied Theories of Economics*, 9(3), 203-230. Doi: 10.22034/ecoj.2022.46363.2896
- Kendall, M. G., & Smith, B. B. (1939). The Problem of m Rankings. *The Annals of Mathematical Statistics*, 10(3), 275–287. <http://www.jstor.org/stable/2235668>
- Khanahmadloo, R., zoghi S. (2022). Identifying Barriers and Drivers of Virtual Reality Technology Adoption in order to create a Virtual Command and Control System: A Case Study of a Military Organization [In Persian]. *C4I Journal*, 5(4), 23-42. <http://ic4i-journal.ir/article-1-301-fa.html>
- Khin, S. and Kee, D.M.H. (2022). Factors influencing Industry 4.0 adoption. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 33 No. 3, pp. 448-467. <https://doi.org/10.1108/JMTM-03-2021-0111>
- Khin, S., & Hung Kee, D. M. (2022). Identifying the driving and moderating factors of Malaysian SMEs' readiness for Industry 4.0. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 35(7), 761-779. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2025619>
- Krishnan, S., Gupta, S., Kaliyan, M., Kumar, V., & Garza-Reyes, J. A. (2021). Assessing the key enablers for Industry 4.0 adoption using MICMAC analysis: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 70(5), 1049-1071. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2020-0053>
- Kumar, R., Singh, R. K., & Dwivedi, Y. K. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of cleaner production*, 275, 124063. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>
- Kumar, S., Raut, R. D., Aktas, E., Narkhede, B. E., & Gedam, V. V. (2022). Barriers to adoption of industry 4.0 and sustainability: a case study with SMEs. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1-21. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2022.2128217>
- Le, V. L. T., Nguyen, T. H., & Pham, K. D. (2023). What Drives Industry 4.0 Technologies Adoption? Evidence from a SEM-Neural Network Approach in the Context of Vietnamese Firms. *Sustainability*, 15(7), 5969. <https://doi.org/10.3390/su15075969>
- Liu, C., Li, W., Lian, J., & Yin, Y. (2012). Reconfiguration of assembly systems: From conveyor assembly line to serus. *Journal of Manufacturing Systems*, 31(3), 312-325. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2012.02.003>

- Maisiri, W., van Dyk, L., & Coetzee, R. (2021). Factors that inhibit sustainable adoption of Industry 4.0 in the South African manufacturing industry. *Sustainability*, 13(3), 1013. <https://doi.org/10.3390/su13031013>
- Mohajan, H. (2019). The first industrial revolution: Creation of a new global human era. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/96644>
- Mohajan, H. (2021). Third industrial revolution brings global development. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/110972>
- Moktadir, M. A., Ali, S. M., Kusi-Sarpong, S., & Shaikh, M. A. A. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process safety and environmental protection*, 117, 730-741. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.020>
- Mokyr, J. (1992). *The lever of riches: Technological creativity and economic progress*. Oxford University Press. <https://academic.oup.com/book/10218>
- Obermayer, N., Csizmadia, T., & Hargitai, D. M. (2022). Influence of Industry 4.0 technologies on corporate operation and performance management from human aspects. *Meditari accountancy research*, 30(4), 1027-1049. DOI: 10.1108/MEDAR-02-2021-1214
- Obiso, J. J. A., Himang, C. M., Ocampo, L. A., Bongo, M. F., Caballes, S. A. A., Abellana, D. P. M., ... & Jr, R. A. (2019). Management of Industry 4.0—reviewing intrinsic and extrinsic adoption drivers and barriers. *International Journal of Technology Management*, 81(3-4), 210-257. <https://doi.org/10.1504/IJTM.2019.105310>
- ÖZCAN, N. A., SEVİNÇ, A., Şeyda, G. Ü. R., ÖZCAN, E., & Tamer, E. R. E. N. (2020). Evaluation of the Transition Process of Industry 4.0 in Automotive Supplier Industry. *Başkent Üniversitesi Ticari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4(2), 1-18. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jcsci/issue/57092/710652>
- Öztürk, Ö. (2023). Analysis of industry 4.0 technologies' adoption using interpretive structural modelling: empirical findings from manufacturing sector in Turkey (Master's thesis, Middle East Technical University). <https://hdl.handle.net/11511/102145>
- Pasi, B. N., Mahajan, S. K., & Rane, S. B. (2022). Development of innovation ecosystem framework for successful adoption of industry 4.0 enabling technologies in Indian manufacturing industries. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 13(1), 154-185. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-10-2020-0148>
- Petrillo, A., De Felice, F., Cioffi, R., & Zomparelli, F. (2018). Fourth industrial revolution: Current practices, challenges, and opportunities. *Digital transformation in smart manufacturing*, 1, 1-20. DOI: 10.5772/intechopen.72304
- Rad, F. F., Oghazi, P., Palmié, M., Chirumalla, K., Pashkevich, N., Patel, P. C., & Sattari, S. (2022). Industry 4.0 and supply chain performance: A systematic literature review of the

- benefits, challenges, and critical success factors of 11 core technologies. *Industrial Marketing Management*, 105, 268-293. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.06.009>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Rezqianita, B. L., & Ardi, R. (2020, June). Drivers and barriers of industry 4.0 adoption in Indonesian manufacturing industry. In *Proceedings of the 3rd Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering 2020* pp. 123-128. <https://doi.org/10.1145/3400934.3400958>.
- Rojas-Berrio, S., Rincon-Novoa, J., Sánchez-Monrroy, M., Ascúa, R., & Montoya-Restrepo, L. A. (2022). Factors influencing 4.0 technology adoption in manufacturing SMEs in an emerging country. *Journal of Small Business Strategy*, 32(3), 67-83. <http://dx.doi.org/10.53703/001c.34608>
- Sandelowski, M., & Barroso, J. (2006). *Handbook for synthesizing qualitative research*. Springer publishing company.
- Sayem, A., Biswas, P. K., Khan, M. M. A., Romoli, L., & Dalle Mura, M. (2022). Critical Barriers to Industry 4.0 Adoption in Manufacturing Organizations and Their Mitigation Strategies. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(6), 136. <https://doi.org/10.3390/jmmp6060136>
- Schmidt, R. C. (1997). Managing Delphi surveys using nonparametric statistical techniques. *Decision Sciences*, 28(3), 763-774. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1997.tb01330.x>
- Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P., & Jozinović, P. (2015). Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results. In *Business Information Systems: 18th International Conference, BIS 2015, Poznań, Poland, June 24-26, 2015, Proceedings 18* (pp. 16-27). Springer International Publishing. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19027-3\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-19027-3_2)
- Senna, P. P., Ferreira, L. M. D., Barros, A. C., Roca, J. B., & Magalhães, V. (2022). Prioritizing barriers for the adoption of Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*, 171, 108428. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108428>
- Singh, A., Kumar, V., Verma, P., & Kandasamy, J. (2022). Identification and severity assessment of challenges in the adoption of industry 4.0 in Indian construction industry. *Asia Pacific Management Review*. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.10.007>
- Stone, M. (1974). Cross-Validatory Choice and Assessment of Statistical Predictions. *Journal of the Royal Statistical Society*, 36(2): pp 111-147. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1974.tb00994.x>



- Stornelli, A., Ozcan, S., & Simms, C. (2021). Advanced manufacturing technology adoption and innovation: A systematic literature review on barriers, enablers, and innovation types. *Research Policy*, 50(6), 104229. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104229>
- Straub, E. T. (2009). Understanding technology adoption: Theory and future directions for informal learning. *Review of educational research*, 79(2), 625-649. <https://doi.org/10.3102/0034654308325896>
- Subramanian, G., Patil, B. T., & Gardas, B. B. (2021). Evaluation of enablers of cloud technology to boost industry 4.0 adoption in the manufacturing micro, small and medium enterprises. *Journal of Modelling in Management*, 16(3), 944-962. <https://doi.org/10.1108/JM2-08-2020-0207>
- Tamvada, J. P., Narula, S., Audretsch, D., Puppala, H., & Kumar, A. (2022). Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs. *Technological Forecasting and Social Change*, 185, 122088. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122088>
- Ullah, F., Sepasgozar, S. M., Thaheem, M. J., & Al-Turjman, F. (2021). Barriers to the digitalisation and innovation of Australian Smart Real Estate: A managerial perspective on the technology non-adoption. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101527. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101527>
- Vinzi, V., Trinchera, L., & Amato, S. (2010). PLS path modeling: from foundations to recent developments and open issues for model assessment and improvement, in *Handbook of partial least squares*. Springer, 47-82. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-32827-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-32827-8_3)
- Virmani, N., Salve, U. R., Kumar, A., & Luthra, S. (2021). Analyzing roadblocks of Industry 4.0 adoption using graph theory and matrix approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3048554>
- Vuksanović Herceg, I., Kuč, V., Mijušković, V. M., & Herceg, T. (2020). Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation. *Sustainability*, 12(10), 4208. <https://doi.org/10.3390/su12104208>
- Wankhede, V. A., & Vinodh, S. (2021). Analysis of industry 4.0 challenges using best worst method: A case study. *Computers & Industrial Engineering*, 159, 107487. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107487>
- Wong, A. P. H., & Kee, D. M. H. (2022). Driving Factors of Industry 4.0 Readiness among Manufacturing SMEs in Malaysia. *Information*, 13(12), 552. <https://doi.org/10.3390/info13120552>
- Yang, M., Fu, M., & Zhang, Z. (2021). The adoption of digital technologies in supply chains: Drivers, process and impact. *Technological Forecasting and Social Change*, 169, 120795. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120795>

Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2021). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922-1954. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>